SUPPLEMENT

REVISTA DE Biología Tropical

https://doi.org/10.15517/x00jkk34

# Monitoreo comunitario en arrecifes coralinos: trayectoria de una brigada en el Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos

Ana Molina-Hernández[1,2]; https://orcid.org/0000-0003-0581-441X
Nuria Estrada-Saldívar[1,3*]; https://orcid.org/0000-0001-9588-2955
Esmeralda Pérez-Cervantes[1,3]; https://orcid.org/0000-0002-4244-9004
Sandra Mendoza-Quiroz[1]; https://orcid.org/0000-0001-9782-8055
Gabriela Gutiérrez Estrada[1,4]; https://orcid.org/0009-0004-4910-1520
Selene Erantzcani Jacobo Cabral[1,7]; https://orcid.org/0009-0007-3174-3260
Mélina Soto[1,6]; https://orcid.org/0009-0002-0536-4113
Alejandra Woolrich Arrioja[1]; https://orcid.org/0000-0002-2914-6682
María Antonieta Saldívar Chávez[8]; https://orcid.org/0000-0002-3067-5143
Isis Gabriela Martínez López[1,3]; https://orcid.org/0009-0004-8442-1343
Dulce Mariana Tapia Aguirre[1]; https://orcid.org/0009-0008-6482-2472
Carolina Camacho Vite[1]; https://orcid.org/0009-0002-5971-0974
Alba González-Posada[1,5]; https://orcid.org/0009-0006-4578-2757
Anabel Quiroz López[1]; https://orcid.org/0009-0005-2184-539X
María del Carmen García Rivas[9]; https://orcid.org/0000-0002-7240-5264

1. Brigada Comunitaria "Las Centinelas del Arrecife", Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, CONANP, Puerto Morelos, Quintana Roo, México. C.P. 77580; anamlhz@gmail.com; nuria.estradasaldivar@hotmail.com (* Correspondencia); esmeralda0724@gmail.com; sandra.mendoza.quiroz@gmail.com; gabrielagutes@gmail.com; seljacobo@gmail.com; soto@healthyreefs.org; alejandrawoolrich2@gmail.com; dulcemta98w@gmail.com; barato456@gmail.com; albagpmf@gmail.com; isisgml@gmail.com, ql.03ani@gmail.com
2. PIESACOM, UMDI-Sisal, Facultad de Ciencias, UNAM, Puerto de Abrigo s/n, C.P, 97356, Sisal, Yucatán, México.
3. Unidad Académica de Sistemas Arrecifales, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, C.P. 77580, Puerto Morelos, Q. Roo, México.
4. Laboratorio de Esclerocronología de Corales Arrecifales, Unidad Académica de Sistemas Arrecifales, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, C.P. 77580, Puerto Morelos, Q. Roo, México.
5. Biodiversidad Arrecifal y Conservación BARCO A.C., C.P.:77580, Puerto Morelos, Quintana Roo. México.
6. Healthy Reefs for Healthy People, 1525SW 5th st, Ft Lauderdale, FL 33312.
7. Sea Zoom, educación, fotografía y ciencia. C.P. 77580 Puerto Morelos, Q. Roo, México.
8. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. (CICY). CP 97205 Mérida, Yucatán, México; maria.saldivar@cicy.mx
9. Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, CONANP, C.P. 77580, Puerto Morelos, Quintana Roo, México; mcgarcia@conanp.gob.mx

Recibido 27-V-2026. Corregido 30-IX-2026. Aceptado 23-X-2026.

**ABSTRACT**

**Community-based monitoring of coral reefs: the journey of a team in the Puerto Morelos Reef National Park**

**Introduction:** Community participation provides a mechanism to directly involve local populations in the monitoring, conservation, and management of protected natural areas linked to their territory. In reef ecosystems, where maintaining continuous monitoring programs poses a significant logistical challenge, community monitoring teams can help generate ecological data and strengthen their connection to environmental management. In Mexico, this type of participation has been promoted by CONANP through subsidy programs.

**Objective:** This study documents and analyzes the trajectory of a community monitoring team dedicated to reef monitoring in the Puerto Morelos Reef National Park, examining its organizational evolution, capacity development, and generated ecological data, as well as its contribution to the monitoring and management of the protected natural area.

**Methods:** The study describes the path of formation, growth, and consolidation of the collective, its organizational practices, cooperation with authorities and other organizations, and the biological monitoring strategies sustained over a six-year period.

**Results:** Between 2019 and 2025, the team evolved from an emergent response to Stony Coral Tissue Loss Disease into a platform for continuous observation and rapid environmental response. The monitoring efforts generated reliable data across 13 monitored sites, including eight historical priority sites. The team incorporated new indicators and post-disturbance assessment strategies for hurricanes, bleaching, and diseases, strengthening its technical capacity and networks with authorities, academia, and civil society organizations. The data generated directly influenced management decisions, including the temporary closure of subzones due to bleaching and the activation of post-hurricane restoration actions.

**Conclusions:** This case study illustrates how a community brigade progressively became a space for participatory governance and knowledge co-production. Its trajectory documents the decisions, organizational adjustments, and renewal processes through which the brigade responded to changes, constraints, and emerging needs over time, reflecting the dynamic and adaptive nature of such initiatives within the context of Protected Natural Areas. Over a period marked by recurrent reef disturbances, the brigade managed to sustain monitoring continuity, expand its technical and organizational capacities, and generate information that contributed to the monitoring and decision-making processes within the PNAPM.

**Key words:** stewardship, reef monitoring, climate change, adaptive management, benthic communities, social-ecological systems.

**RESUMEN**

**Introducción:** La participación comunitaria proporciona un mecanismo para involucrar directamente a las poblaciones locales en el monitoreo, la conservación y el manejo de áreas naturales protegidas vinculadas con su territorio. En los ecosistemas arrecifales, donde mantener programas de monitoreo continuo representa un desafío logístico importante, los equipos de monitoreo comunitario pueden contribuir a generar datos ecológicos y fortalecer su vinculación con la gestión ambiental. En México, este tipo de participación ha sido promovido por la CONANP mediante programas de subsidios.

**Objetivo:** Este estudio documenta y analiza la trayectoria de un equipo de monitoreo comunitario dedicado al monitoreo arrecifal en el Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, examinando su evolución organizativa, el desarrollo de capacidades y los datos ecológicos generados, así como su contribución al monitoreo y manejo del área natural protegida.

**Métodos:** El estudio describe el proceso de formación, crecimiento y consolidación del colectivo, sus prácticas organizativas, la colaboración con autoridades y otras organizaciones, así como las estrategias de monitoreo biológico implementadas de manera sostenida durante un periodo de seis años.

**Resultados:** Entre 2019 y 2025, el equipo evolucionó de una respuesta emergente ante la enfermedad de pérdida de tejido de coral duro a una plataforma de observación continua y respuesta ambiental rápida. Los esfuerzos de monitoreo generaron datos confiables en 13 sitios monitoreados, incluidos ocho sitios prioritarios históricos. El equipo incorporó nuevos indicadores y estrategias de evaluación posteriores a eventos de perturbación, como huracanes, blanqueamiento y enfermedades, fortaleciendo su capacidad técnica y sus redes de colaboración con autoridades, instituciones académicas y organizaciones de la sociedad civil. Los datos generados influyeron directamente en decisiones de manejo, incluyendo el cierre temporal de subzonas debido a eventos de blanqueamiento y la activación de acciones de restauración posteriores al paso de huracanes.

**Conclusiones:** Este estudio de caso ilustra cómo una brigada comunitaria se convirtió progresivamente en un espacio de gobernanza participativa y coproducción de conocimiento. Su trayectoria documenta las decisiones, ajustes organizativos y procesos de renovación mediante los cuales la brigada respondió a los cambios, limitaciones y necesidades emergentes a lo largo del tiempo, reflejando la naturaleza dinámica y adaptativa de este tipo de iniciativas dentro del contexto de las Áreas Naturales Protegidas. Durante un periodo marcado por perturbaciones arrecifales recurrentes, la brigada logró mantener la continuidad del monitoreo, ampliar sus capacidades técnicas y organizativas, y generar información que contribuyó a los procesos de monitoreo y toma de decisiones dentro del PNAPM.

**Palabras clave:** ciencia ciudadana; monitoreo arrecifal; cambio climático; gestión adaptativa; comunidades bentónicas; CONANP.

## INTRODUCCIÓN

La conservación y el manejo de los ecosistemas terrestres y marinos enfrentan desafíos cada vez más complejos debido al rápido deterioro ambiental y al aumento de las perturbaciones asociadas a las actividades humanas. En este contexto, la generación de información ecológica sistemática y de largo plazo es fundamental para comprender los cambios ecosistémicos y respaldar la toma de decisiones orientadas a la conservación (Danielsen et al., 2009; Perera-Valderrama et al., 2020). Sin embargo, mantener programas continuos de monitoreo biológico representa un reto operativo, especialmente en regiones con recursos financieros y técnicos limitados. Frente a ello, la ciencia ciudadana constituye un marco amplio para la participación de personas y organizaciones de la sociedad en la generación de conocimiento científico, contribuyendo a fortalecer la generación de información ecológica y ampliar la cobertura espacial y temporal del monitoreo mediante la colaboración entre diversos actores sociales (Bonney et al., 2009; Fraisl et al., 2022).

El monitoreo comunitario implica la participación organizada de comunidades, organizaciones locales y otros actores en la generación, análisis e intercambio sistemático de información sobre su entorno. Sin embargo, su alcance trasciende la generación de información ecológica, al constituir también una forma de acción colectiva que favorece el aprendizaje social y articula capacidades entre comunidades, organizaciones de la sociedad civil, instituciones académicas y autoridades ambientales. Esta interacción puede propiciar la coproducción de conocimiento, es decir, la construcción conjunta de saberes mediante el diálogo entre distintas formas de conocimiento para atender problemas complejos (Norström et al., 2020).

A su vez, la colaboración sostenida entre estos actores puede fortalecer esquemas de gobernanza participativa, basados en la interlocución, los acuerdos y la toma de decisiones compartida entre gobierno y actores sociales y económicos, incorporando distintas fuentes de información y conocimiento en lugar de depender exclusivamente de decisiones verticales (Puga, 2021). La generación y socialización continua de conocimiento sobre las dinámicas del ecosistema también contribuye a construir memoria ecológica local y puede favorecer el manejo adaptativo al permitir que la información derivada del monitoreo retroalimente las decisiones y prácticas de conservación (Berkes, 2009; Armitage et al., 2009; Danielsen et al., 2022). Desde esta perspectiva, las brigadas comunitarias representan formas de acción colectiva territorial que integran capacidades técnicas, participación social y objetivos compartidos de conservación.

En México, la participación comunitaria en la conservación de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) ha transitado desde iniciativas locales espontáneas, como el decreto en 1998 del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos (PNAPM), a petición de la propia comunidad (Rodríguez-Martínez, 2008), hacia esquemas institucionalizados de colaboración, como los programas federales de subsidios con reglas de operación definidas, financiamiento y

convocatorias anuales. No obstante, los esquemas de conservación en México han mostrado niveles generalmente bajos de participación local; por ejemplo, Brenner (2020) encontró que, de 53 estudios sobre Reservas de la Biósfera mexicanas, 36 excluían amplios sectores sociales del proceso de toma de decisiones. Y cuando existe participación, esta suele limitarse a modalidades nominales o pasivas, lo que señala la necesidad de marcos institucionales que incentiven y sostengan el involucramiento activo (Méndez-López et al., 2014). Para atender esta brecha, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), implementó el Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (PROCODES en operación desde 2001) y el Programa para la Protección y Restauración de Ecosistemas y Especies Prioritarias (PROREST, en operación desde 2019). Ambos programas están orientados al monitoreo, restauración y fortalecimiento de capacidades locales y son complementarios, coincidentes y están dirigidos a una misma población susceptible de ser beneficiada (Ramírez-García, 2022). Aunque ambos programas buscan fomentar la participación comunitaria, su efectividad suele verse limitada por presupuestos de corto plazo, ya que operan bajo subsidios anuales, dentro del ejercicio fiscal en que fueron autorizados. A esto se suma que las comunidades son consideradas principalmente como beneficiarias económicas, y no como tomadoras de decisiones, lo que limita su capacidad de incidir en las prioridades de conservación y manejo de su territorio (Neger & Crespo-Guerrero, 2021; Ramírez-García, 2022; Hoffman, 2009).

Pese a estas limitaciones, la integración de brigadas comunitarias en esquemas de monitoreo ha demostrado ser una herramienta efectiva para fortalecer la gestión de las ANP, especialmente cuando existe articulación entre comunidades, autoridades, organizaciones civiles e instituciones académicas (Lavariega et al., 2020; Danielsen et al., 2022). Una dimensión que ha recibido menor atención en estos esquemas de colaboración es el papel de las mujeres y las implicaciones de su participación activa: su incorporación no solo fortalece la capacidad operativa de las brigadas y mejora la continuidad temporal del monitoreo, sino que constituye en sí misma un proceso de generación de capacidad de agencia social y ambiental con efectos que trascienden la conservación (Meli et al., 2026).

Estas capacidades resultan particularmente relevantes en Quintana Roo donde se localizan 25 ANP que albergan ecosistemas costeros y marinos de alta biodiversidad, que incluyen manglares, pastos marinos y arrecifes coralinos (Sahagún-Sánchez et al., 2026). Estos ecosistemas proveen servicios ecosistémicos fundamentales, como la protección costera, el mantenimiento de pesquerías y el sustento de actividades turísticas. En las últimas décadas, estos ecosistemas han enfrentado presiones crecientes derivadas del desarrollo costero, el cambio climático y múltiples perturbaciones ambientales (Estrada-Saldívar et al., 2019; Suchley & Álvarez-Filip, 2018; Rioja-Nieto & Álvarez-Filip, 2019). En particular, los arrecifes coralinos del Caribe mexicano se encuentran entre los ecosistemas más vulnerables de la región, con coberturas coralinas que han disminuido al 13% en numerosos sitios debido a enfermedades, eventos de blanqueamiento, huracanes y arribazones masivos de sargazo (Rodríguez-Martínez et al., 2019; González-Barrios et al., 2021; McField et al., 2024; Álvarez-Filip et al., 2026).

Entre las perturbaciones recientes más relevantes destacan la Enfermedad de Pérdida de Tejido en Corales Duros (SCTLD por sus siglas en inglés), responsable de la mortandad masiva de especies constructoras de arrecife (Aeby et al., 2019; Álvarez-Filip et al., 2022); los eventos recurrentes de sargazo que deterioran la calidad del agua (van-Tussenbroek et al., 2017), y los eventos de blanqueamiento asociados al incremento de la temperatura marina, como el ocurrido en 2023, que marcó el inicio del cuarto evento global de blanqueamiento coralino y constituyó uno de los periodos de estrés térmico más severos registrados en los arrecifes del Caribe (Reimer et al., 2024), lo que ocasionó altas tasas de mortalidad coralina en la región (Birkart & Álvarez-Filip, 2025). Bajo

este escenario, resulta fundamental mantener programas continuos de monitoreo para detectar oportunamente cambios ecológicos.

En este orden de ideas, las brigadas comunitarias pueden funcionar como plataformas locales de observación y respuesta rápida ante perturbaciones agudas. Las brigadas, al estar conformadas por personas de la comunidad, mantienen una presencia más constante en el territorio, lo que favorece la detección oportuna de cambios ecológicos fuera de las ventanas temporales de las campañas científicas convencionales, generalmente acotadas a periodos específicos de muestreo y al desplazamiento de equipos de investigación. Asimismo, pueden contribuir a la activación de protocolos emergentes y generar información relevante para el manejo adaptativo de los arrecifes.

Así, el presente estudio reconstruye y analiza la trayectoria de una brigada comunitaria integrada por mujeres, la cual inició actividades en junio de 2019 a partir de una necesidad del monitoreo arrecifal ante el avance de la enfermedad de pérdida de tejido de coral duro (SCTLD) en el PNAPM, cuyo primer reporte se dio originalmente en 2018 (Álvarez-Filip et al., 2019). A través de una perspectiva de ruta-trayectoria, el manuscrito documenta la historia organizativa y operativa del colectivo en un escenario marcado por perturbaciones arrecifales recurrentes. Como parte de este proceso, se examina la reconstrucción cronológica de la trayectoria de la brigada y su respuesta frente a eventos de perturbación ambiental (ej. huracanes y enfermedades coralinas), el desarrollo progresivo de las estrategias y metodologías de monitoreo biológico implementadas, así como los principales indicadores ecológicos empleados, y los procesos de fortalecimiento de capacidades y construcción de redes de colaboración que permitieron sostener las actividades del colectivo a lo largo del tiempo. Este trabajo busca documentar la trayectoria mediante la cual una brigada comunitaria se consolidó como un esfuerzo local de monitoreo continuo, generación de información y respuesta socioecológica frente al cambio ambiental acelerado dentro de un Área Natural Protegida.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio:** El Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos está localizado al noreste de la Península de Yucatán en la parte norte del estado de Quintana Roo, México. Esta ANP fue decretada el 2 de febrero de 1998, impulsada en gran medida por la comunidad de Puerto Morelos, y su programa de manejo se publicó dos años después (Rodríguez-Martínez, 2008). El Parque abarca una superficie de aproximadamente 9 066 hectáreas marinas, distribuidas en un polígono cuyas coordenadas geográficas extremas son 21°00’00” y 20°48’33” de latitud norte, y 86°53’14.4” y 86°46’38.94” de longitud oeste (Instituto Nacional de Ecología, 2000). Su extensión longitudinal es de aproximadamente 21 km, desde las inmediaciones del hotel Moon Palace, en el municipio de Benito Juárez, al norte, hasta el Muelle Fiscal de Puerto Morelos, al sur. El Municipio de Puerto Morelos y sus arrecifes pertenecen a la Riviera Maya, un corredor turístico en acelerada transformación desde la década de los años noventa (Torres & Momsen, 2005). Este crecimiento, sumado a la vocación turística de la zona, ha propiciado una alta población flotante con poca identidad local (Carte et al., 2010; Hernández-Aguilar et al., 2025). No obstante, desde la década de los años ochenta, la comunidad también alberga investigadores y conservacionistas vinculados a instituciones como el Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera del ahora Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuacultura Sustentables (CRIAP-IMIPAS), la Unidad Académica de Sistemas Arrecifales de la Universidad Nacional Autónoma de México (UASA-UNAM), así como por la presencia de organizaciones de la sociedad civil (Instituto Nacional de Ecología, 2000).

Desde la conformación de la brigada en 2019 y hasta 2025, se han monitoreado en total 13 sitios (Fig. 1); ocho de estos sitios corresponden a la red de monitoreo establecida originalmente por el PNAPM desde 2005, con seguimiento no continuo en sus primeros años, por lo que fueron clasificados por la brigada como sitios prioritarios. De manera importante,

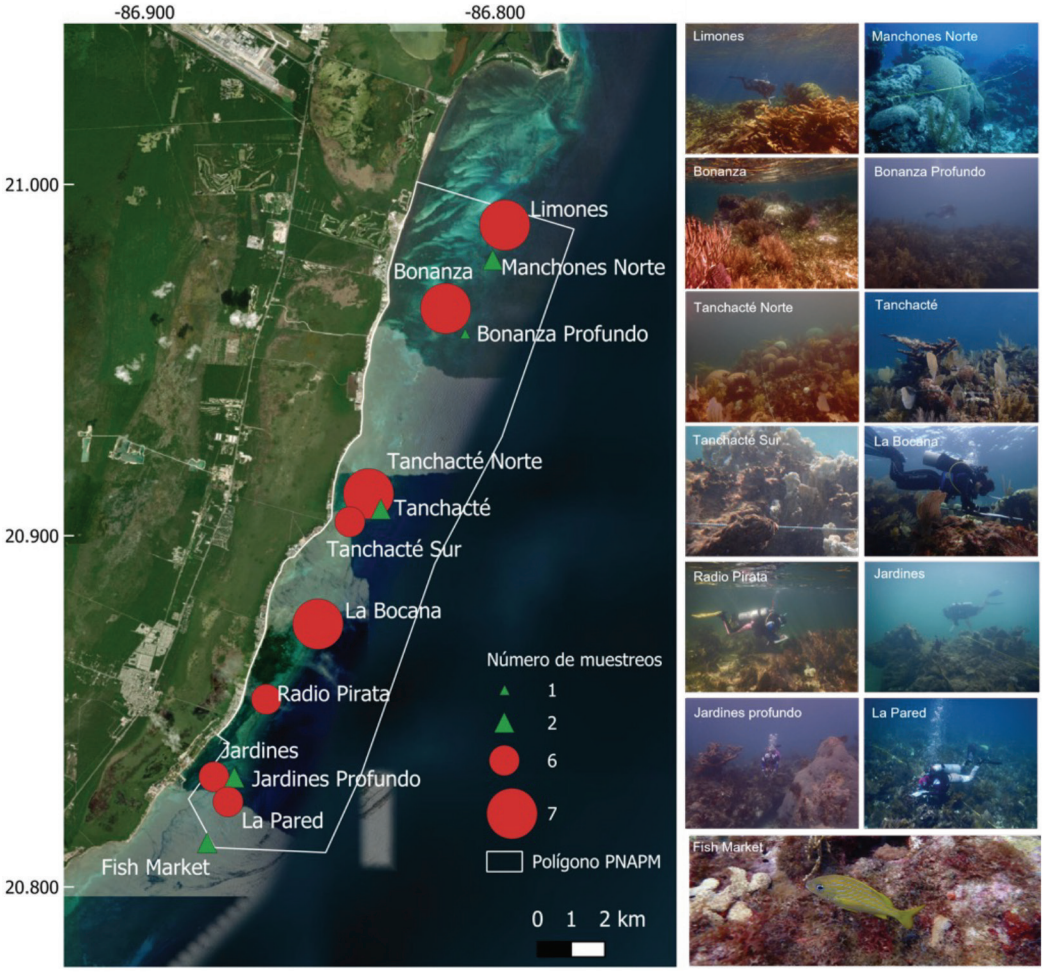


**Fig. 1.** Sitios arrecifales evaluados dentro del proyecto. El tamaño de los símbolos corresponde al número de monitoreos realizados en cada uno, la forma de los símbolos corresponde a el tipo de sitio, donde los sitios prioritarios se representan con círculos rojos, y los sitios adicionales agregados a partir de 2024 se representan con triángulos verdes. Del lado derecho se muestran imágenes de cada uno de los sitios, organizadas en pares por fila y ordenadas de norte a sur. / **Fig. 1.** Reef sites surveyed as part of the project. Symbol size corresponds to the number of monitoring surveys conducted at each site, while symbol shape indicates site type: priority sites are represented by red circles, and additional sites incorporated from 2024 onward are represented by green triangles. On the right, images of each site are shown, arranged in pairs by row and ordered from north to south.

entre 2012 y 2015, estos sitios fueron consolidados bajo el Programa de Monitoreo Biológico (PROMOBI), que en su momento estableció transectos permanentes de monitoreo marcados con boya y punto GPS en cada uno de estos sitios prioritarios (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas & Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2005). Esta información fue compartida con la brigada, lo que permitió dar seguimiento a los mismos transectos y fortalecer la continuidad temporal y comparabilidad del monitoreo. A partir de 2020, la brigada comunitaria, además de dar continuidad al monitoreo en estos mismos sitios prioritarios y transectos, incorporó posteriormente cinco sitios adicionales (Tabla S2) para ampliar la representatividad espacial del monitoreo, una vez consolidada su capacidad

técnica y estandarizados los protocolos de muestreo.

**Reconstrucción de la trayectoria de la brigada:** La trayectoria de la brigada entre 2019 y 2025 se examinó mediante un análisis temático orientado a la reconstrucción de trayectorias, complementado con análisis documental y triangulación de fuentes. Para recuperar las experiencias y perspectivas de sus integrantes, se realizaron entrevistas semiestructuradas a 12 de 14 mujeres que formaron parte de la brigada en distintos momentos de su trayectoria, quienes aceptaron participar voluntariamente en el estudio, e incluyeron a 5 integrantes presentes desde su conformación y otras 7 incorporadas en etapas posteriores.

Las entrevistas fueron registradas en formato de audio con equipo celular y tuvieron una duración aproximada de entre 5 y 30 minutos por participante; el tiempo de respuesta varió en función del número de años que cada persona llevaba formando parte de la brigada. Previo a las entrevistas, se informó a las participantes sobre el propósito del estudio y el uso de la información recabada, y se obtuvo su consentimiento verbal para participar y para el registro de las entrevistas en audio. En todos los casos se utilizó un mismo guión de preguntas abiertas (Tabla S1), orientado a explorar su incorporación y permanencia en la brigada, la evolución de sus objetivos y actividades, los procesos de capacitación y aprendizaje, las formas de organización y toma de decisiones, la interacción con autoridades y otros actores, los principales retos y perturbaciones ambientales enfrentados, así como los aportes y aprendizajes percibidos a lo largo de la experiencia. Los audios fueron transcritos utilizando la plataforma TurboScribe, y las transcripciones fueron examinadas mediante análisis temático (Braun & Clarke, 2006; Braun & Clarke, 2021), utilizando una estrategia de codificación híbrida deductivo-inductiva. Para la reconstrucción de la trayectoria se utilizó un enfoque orientado a identificar patrones compartidos en las experiencias de las participantes, situarlos en la secuencia temporal de cambios y procesos que configuraron a la brigada y contrastarlos con los registros documentales generados a lo largo de la historia (2019-2025). Inicialmente se establecieron categorías derivadas de los objetivos del estudio y de las dimensiones abordadas en el guion de entrevista, las cuales fueron refinadas durante la lectura y comparación sistemática de las respuestas para incorporar patrones emergentes. Las transcripciones se segmentaron en unidades de significado, que pudieron asociarse con una o más categorías de acuerdo con su contenido. Los temas recurrentes se identificaron como patrones de significado presentes transversalmente entre las participantes, considerando a cada entrevistada como una unidad de análisis y registrando la presencia de evidencia para cada categoría independientemente del número de veces que un mismo tema fuera mencionado. Asimismo, se seleccionaron extractos representativos de los testimonios para ilustrar las categorías obtenidas en los resultados, los cuales permiten ejemplificar las vivencias de las integrantes sobre la trayectoria y el fortalecimiento de sus capacidades. Para resguardar la identidad de las participantes, las citas se presentan asociadas a su cohorte de ingreso o rol dentro del colectivo.

Paralelamente, se reconstruyó la secuencia temporal para identificar eventos clave y puntos de inflexión, entendidos respectivamente como acontecimientos relevantes, tanto ambientales como organizativos e institucionales, que motivaron acciones o respuestas por parte de sus integrantes, así como cambios sostenidos en aspectos como su organización, objetivos, capacidades, participación y vinculación con otros sectores. Esta reconstrucción se complementa con bitácoras de campo, informes anuales y registros de capacitaciones, reuniones institucionales y actividades de divulgación. La combinación entre testimonios y fuentes documentales permitió corroborar fechas y secuencias, así como identificar convergencias, discrepancias o vacíos de información.

Como parte de esta reconstrucción también se documentó el proceso de fortalecimiento de capacidades desarrollado en el marco del PROREST, el cual requirió un proceso

continuo de profesionalización. Entre 2019 y 2022, las integrantes participaron en 12 talleres especializados para fortalecer las capacidades y asegurar la calidad y pertinencia de la información generada. La formación abarcó tres ejes fundamentales: 1) Monitoreo biológico: enfocado en el dominio de protocolos de monitoreo, como Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA) y evaluación de daños tras perturbaciones agudas. 2) Herramientas tecnológicas: que incluyeron cursos de fotografía submarina orientados tanto a aspectos técnicos (manejo de luz, contraste y composición) como narrativos (*storytelling* visual), así como un curso de sistemas de información geográfica (SIG) para el manejo del software QGIS; y 3) El marco jurídico normativo, que incluyó la legislación del ANP, así como conocimientos generales de derecho ambiental, y la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 "Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo" para contextualizar el manejo de especies bajo protección especial.

**Implementación e indicadores de monitoreo biológico:** Para documentar cómo se estructuró y llevó a cabo el monitoreo biológico desarrollado por la brigada comunitaria dentro del PNAPM, se integró información sobre los principales protocolos, enfoques de evaluación e indicadores ecológicos implementados entre 2019 y 2025, obtenida principalmente de documentos generados durante la trayectoria de la brigada. Debido a que las necesidades de información y las perturbaciones presentes en el arrecife variaron a lo largo del tiempo, las actividades de monitoreo incorporaron distintos métodos orientados tanto a la respuesta rápida ante perturbaciones agudas, como al seguimiento sistemático de la condición arrecifal y de hábitats asociados.

De manera general, los enfoques de monitoreo considerados incluyeron: 1) evaluaciones rápidas de colonias coralinas tras eventos de perturbación como enfermedades, blanqueamiento coralino y huracanes mediante la técnica BarDrop (BDM, Searle et al., 2014); 2) monitoreo sistemático de indicadores de salud arrecifal mediante el protocolo AGRRA V5.5 (Lang et al., 2012), incluyendo cobertura bentónica, condición de corales adultos, densidad de reclutas, invertebrados móviles y comunidad íctica; y 3) evaluación de praderas marinas mediante cuadrantes y la escala Braun-Blanquet para caracterizar la vegetación asociada, particularmente *Thalassia testudinum* (Fourqurean et al., 2001; Molina-Hernández y van Tussenbroek, 2014).

La descripción detallada de los protocolos implementados para cada componente biológico monitoreado por la brigada a lo largo del tiempo -incluyendo corales adultos, reclutas, peces arrecifales, organismos bentónicos, invertebrados móviles y pastos marinos- se presenta en el Material Suplementario.

La información generada a partir de estos monitoreos fue sistematizada y transferida periódicamente mediante reportes técnicos dirigidos a la dirección del PNAPM y presentada anualmente (2019-2025) ante el Consejo Asesor del Área Natural Protegida, formando parte de los insumos utilizados para el seguimiento y manejo del arrecife.

## RESULTADOS

**Trayectoria de conformación y consolidación de la brigada:** Se obtuvieron 126 minutos de grabaciones de audio realizadas a 12 personas, además de registros fotográficos, materiales de divulgación, bitácoras y testimonios de integrantes de la brigada, los cuales permitieron reconstruir cronológicamente la historia de sus actividades, capacidades y líneas de acción entre 2019 y 2025.

La brigada comunitaria se formó e inició actividades en 2019 como una necesidad del monitoreo arrecifal ante el avance de la enfermedad SCTLD en el Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, cuyo primer reporte se dio originalmente en 2018 (Álvarez-Filip et al., 2019). Inicialmente, la brigada se enfocó en la evaluación rápida de la salud de la comunidad coralina de junio a noviembre de 2019, en

cuatro sitios prioritarios (Limones, Bonanza, Tanchacté Norte y La Bocana), así como en el seguimiento individual de colonias sanas y afectadas por dicha enfermedad en los mismos sitios (Fig. 2 "seguimiento colonias"), cuyos resultados fueron reportados a la dirección del PNAPM. Al concluir el primer año de trabajo, la brigada se sintió motivada, tanto por el alcance de las actividades realizadas, como por la utilidad de la información generada para el seguimiento del estado del arrecife por parte de la dirección del PNAPM. Al mismo tiempo, se reconoció la importancia de continuar el monitoreo de la salud arrecifal, ya que la SCTLD había provocado mortalidad y pérdida de tejido en colonias masivas evidenciado la necesidad de evaluar otros componentes clave del ecosistema arrecifal. En respuesta a esa necesidad, para el segundo año, la brigada amplió el enfoque hacia un esquema de monitoreo arrecifal más integral que incorporó métricas por unidad de área (e.g., abundancia, cobertura, biomasa) por lo que se incluyó el censo de corales, bentos (organismos sésiles como macroalgas, octocorales y esponjas), invertebrados móviles (como erizos y langostas), y peces arrecifales, componentes que se mantuvieron en los monitoreos de manera sistemática en los años posteriores (Tabla S2). La incorporación de estos indicadores en los monitoreos también se dio como respuesta a los requerimientos del PNAPM para fortalecer el seguimiento en sus sitios prioritarios, que no habían sido monitoreados, entre 2017 y 2019, por limitaciones logísticas y presupuestales.

La mayoría de las integrantes de la brigada han residido en Puerto Morelos desde hace más de diez años. Esto ha favorecido una comprensión contextual y temporal de los cambios ocurridos en el arrecife, combinado con el seguimiento continuo realizado mediante los monitoreos. Lo anterior ha permitido observar el deterioro progresivo de la salud arrecifal asociado a la interacción de múltiples factores. A lo largo de la trayectoria del proyecto, la composición de la brigada estuvo marcada, además, por una dinámica constante de recambio: de las 14 mujeres que han formado parte del colectivo entre 2019 y 2025, algunas se mantuvieron desde su conformación, mientras que otras se incorporaron o dejaron de participar en distintos momentos, principalmente por cambios en su disponibilidad de tiempo, actividades laborales o circunstancias personales (Fig. 2).

Conforme avanzaron los monitoreos surgieron requerimientos específicos de información para el Parque relacionados con nuevos eventos de estrés para el ecosistema arrecifal (ej. el paso del huracán Delta en 2020 y Grace en 2021; y los brotes de enfermedades coralinas en 2022 y 2025), la brigada ajustó sus objetivos y métodos de toma de datos. Se implementaron monitoreos emergentes de respuesta rápida los cuales no estaban considerados originalmente dentro del plan anual de trabajo, pero fueron incorporados para ajustar rápidamente los esfuerzos de monitoreo ante eventos de perturbación. Esto también fue posible gracias a capacitaciones enfocadas en respuesta rápida ante contingencias ambientales, recibidas por las integrantes de la brigada, como resultado de la colaboración y comunicación con autoridades e instituciones como el IMIPAS y la UASA-UNAM (Fig. 2 y Fig. 3).

Para 2023, ante las alertas tempranas regionales y globales asociadas al incremento de la temperatura del mar, la brigada adelantó e intensificó los monitoreos respecto a años anteriores en los sitios prioritarios, lo que permitió documentar la progresión del blanqueamiento masivo y generar registros locales sobre su magnitud e impacto en el PNAPM. Durante este periodo también se incorporó el monitoreo de pastos marinos (por un único año) en áreas adyacentes a cuatro de los sitios arrecifales dentro del PNAPM, con el objetivo de ampliar el entendimiento sobre la condición de hábitats conectados al arrecife. La respuesta de la brigada durante el evento de blanqueamiento de 2023 derivó además en la participación en reuniones técnicas con el Consejo Asesor –órgano de participación social que apoya y asesora a la dirección del Área Natural Protegida e integra a representantes de distintos sectores vinculados con su manejo y conservación–, así como en foros y espacios de intercambio

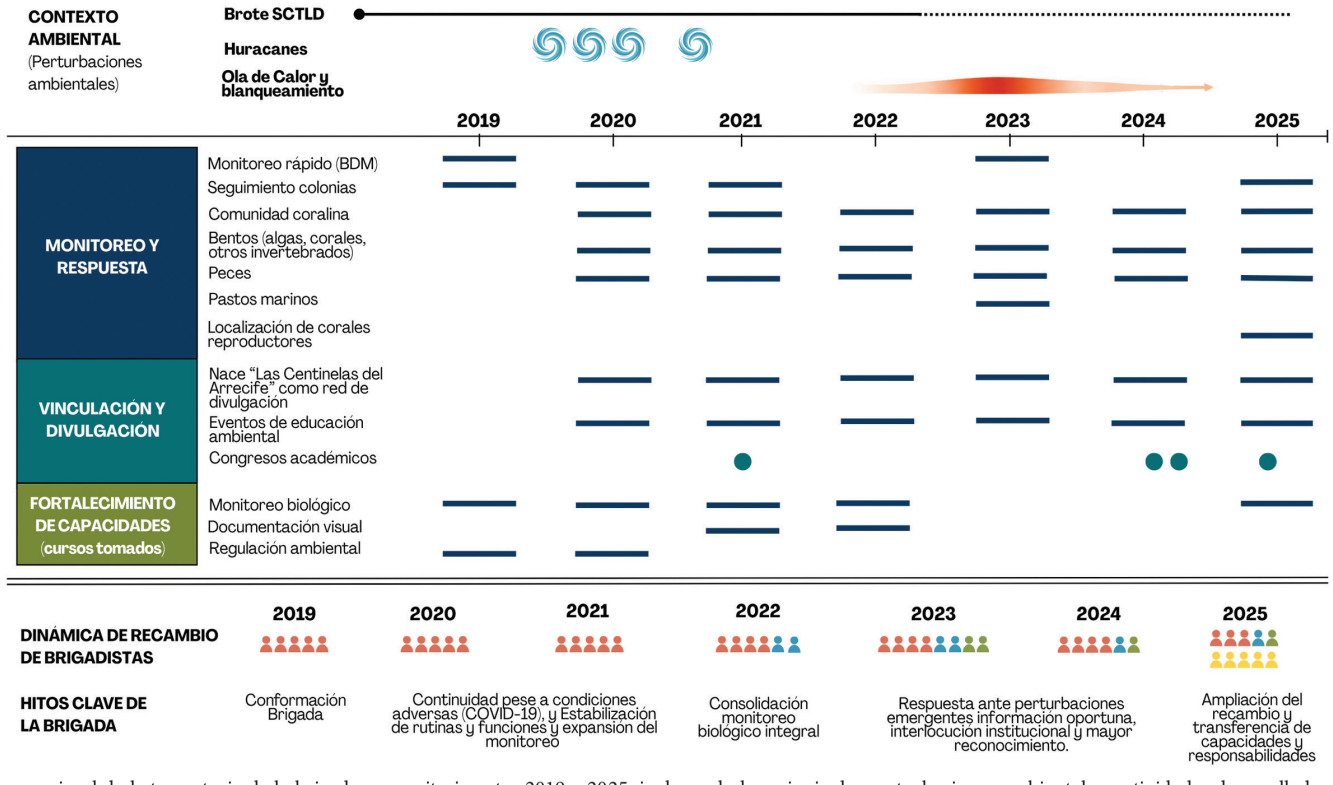


**Fig. 2.** Resumen visual de la trayectoria de la brigada comunitaria entre 2019 y 2025, incluyendo las principales perturbaciones ambientales, actividades desarrolladas, procesos de fortalecimiento de capacidades e hitos de su evolución. Las barras horizontales (—) indican el periodo del año durante el cual se desarrollaron de manera recurrente las actividades correspondientes, sin implicar su ejecución continua o diaria, mientras que los puntos (•) representan eventos o participaciones de ocurrencia puntual. Los símbolos de huracán indican la ocurrencia de los ciclones tropicales Gamma, Delta y Zeta en 2020, y Grace en 2021, en orden cronológico de aparición. La dinámica de recambio de las brigadistas se representa mediante íconos de persona (👤), cada uno correspondiente a una integrante; los colores identifican cohortes de incorporación, de modo que la permanencia de un mismo color entre años representa la continuidad de las integrantes de esa cohorte, mientras que la aparición de un nuevo color indica nuevas incorporaciones. / **Fig. 2.** Visual summary of the trajectory of the community brigade from 2019 to 2025, including the main environmental disturbances, activities conducted, capacity-building processes, and key milestones in its development. Horizontal bars (—) indicate the period of the year during which the corresponding activities were conducted on a recurring basis, without implying continuous or daily implementation, whereas dots (•) represent events or participation occurring at a specific point in time. Hurricane symbols indicate the occurrence of tropical cyclones Gamma, Delta, and Zeta in 2020, and Grace in 2021, in chronological order. Brigade member turnover is represented by person icons (👤), each corresponding to one member; colors identify cohorts of members who joined during the same period, such that the persistence of the same color across years indicates the continued participation of members from that cohort, while the appearance of a new color indicates the incorporation of new members.

Revista de Biología Tropical, ISSN: 2215-2075, Vol. 74(S4): e202616624, Octubre 2026 (Publicado Nov. 17, 2026)




**Fig. 3.** Instituciones y organizaciones que colaboraron con la brigada comunitaria. Aliados capacitadores (2019 a 2022), que brindaron formación técnica, legal y ecológica a las integrantes: Contreras Silva, Sea Zoom educación, creación de contenido e investigación, CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas), IMIPAS (Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuacultura Sustentable), Pepe Funes abogado ambientalista, Coralium Laboratorio de investigación integral para la conservación de arrecifes, CEMDA (Centro Mexicano de Derecho Ambiental), Secore International, Barco Lab (Laboratorio de biodiversidad y conservación arrecifal), CICY (Centro de Investigación Científica de Yucatán). Aliados en campañas y monitoreos (2019 a 2025), con quienes se desarrollaron colaboraciones de campo, investigación y respuesta ante contingencias ambientales: CONANP, COBI (Comunidad y Biodiversidad A.C.), Raíces Marinas, Coralium, Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, Corales Vivos, Barco Lab, Corales Tulum, Healthy Reefs for Healthy People. / **Fig. 3.** Institutions and organizations that collaborated with the community brigade. Training partners (2019–2022) that provided technical, legal, and ecological training to brigade members: Contreras Silva; Sea Zoom, education, content creation, and research; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (National Commission of Natural Protected Areas); IMIPAS, (Mexican Institute for Fisheries and Sustainable Aquaculture Research); Pepe Funes, environmental lawyer; Coralium (Integrative Reef Conservation Research Laboratory); CEMDA (Mexican Center for Environmental Law); SECORE International; Barco Lab (Biodiversity and Reef Conservation Laboratory); and CICY (Scientific Research Center of Yucatán) and monitoring partners (2019–2025), with whom fieldwork, research, and environmental contingency response activities were carried out: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas; COBI, Comunidad y Biodiversidad A.C.; Raíces Marinas; Coralium; Puerto Morelos Reef National Park; Corales Vivos; Barco Lab; Corales Tulum; and Healthy Reefs for Healthy People.

con la Dirección del PNAPM, la CONANP e integrantes de la academia, donde los datos generados por la brigada sirvieron como insumo para discutir el estado del arrecife y posibles acciones de seguimiento (Fig. 4).

Posteriormente, en 2024 y 2025, los cambios registrados en varios sitios arrecifales en años previos, entre los que destaca la pérdida de *Acropora palmata* en arrecifes someros entre los sitios de Bonanza y Radio Pirata, motivaron a la brigada a incorporar nuevos esfuerzos de búsqueda y localización de colonias reproductoras de *A. palmata*, así como de especies de *Orbicella* sp., *Diploria labyrinthiformis* y *Pseudodiploria strigosa*. Estas colonias fueron ubicadas con el fin de que pudieran ser de utilidad para los esfuerzos de restauración llevados a cabo por organizaciones que trabajan dentro del PNAPM. Asimismo, se integraron cinco sitios adicionales de monitoreo para ampliar la cobertura espacial y fortalecer el seguimiento de especies prioritarias dentro del sistema arrecifal, ahora enfocados en el arrecife frontal (Fig. 1, Tabla S2).

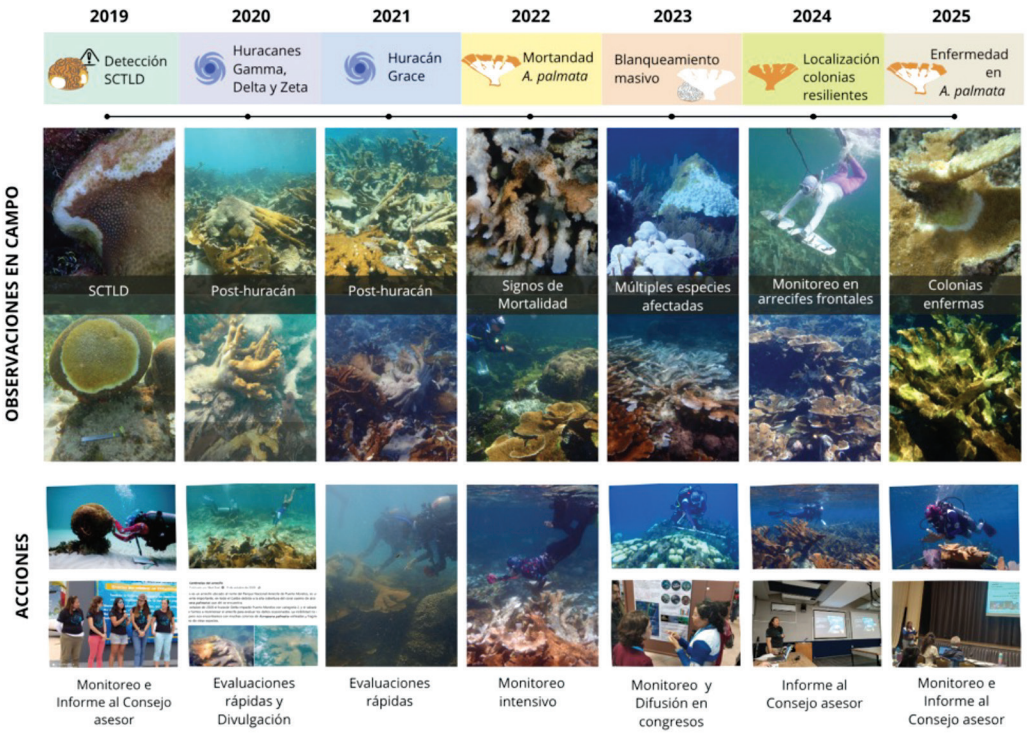


**Fig. 4.** Sucesos ecológicos monitoreados por la brigada de 2019-2025. Se presentan las distintas perturbaciones ecológicas que impactaron los arrecifes del PNAPM. Se integraron las observaciones en campo con acciones de respuesta en términos de monitoreo emergente y flujo de información hacia la dirección del Parque. / **Fig. 4.** Ecological events monitored by the brigade from 2019 to 2025. The various ecological disturbances that impacted the reefs of the PNAPM are presented. Field observations were combined with response actions in terms of emergency monitoring and information flow to the Park authorities.

**Desarrollo de las capacidades técnicas y organizativas:** La brigada contó desde su inicio con integrantes con experiencia previa en trabajo biológico y monitoreo arrecifal, lo que facilitó una respuesta inicial rápida ante la emergencia por la SCTLD; sin embargo, la incorporación progresiva de nuevas actividades de monitoreo requirió procesos de especialización y fortalecimiento de capacidades (Fig. 2). Esta construcción de capacidades técnicas y operativas fueron impulsadas por las necesidades en torno al monitoreo biológico, la incidencia de nuevas perturbaciones ambientales y a los propios objetivos que se iban agregando o cambiando a lo largo de los años de ejecución de los proyectos. Entre 2019 y 2022 las integrantes participaron en 12 talleres especializados, distribuidos en los tres ejes de formación descritos en la sección de Metodología (tecnología y herramientas, marco legal y gestión, y monitoreo ecológico el cual incluyó contingencias ambientales). Los talleres tuvieron efectos concretos sobre el desarrollo del proyecto: el curso de SIG permitió la elaboración de mapas de los sitios de monitoreo y el registro de rutas mediante GPS, herramienta clave para el monitoreo de manta-tow realizado en 2024, mientras que la formación en fotografía submarina y *storytelling* sentó las bases para las publicaciones de divulgación en redes sociales de la brigada. Es importante señalar que estas capacitaciones fueron relevantes para la confiabilidad de la información generada, ya que permitió homogeneizar los criterios y técnicas de toma de datos de las integrantes (particularmente las de nuevo ingreso en 2025),

además, responde a un requisito explícito de los lineamientos del PROREST, que exigen demostrar la capacitación de las brigadistas mediante una constancia vigente (con validez de dos años) o la toma de un curso de capacitación dentro del proyecto. Estas capacitaciones fueron posibles gracias al apoyo y acompañamiento de diferentes instituciones como el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), el Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuacultura Sustentables (IMIPAS), el Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CEMDA), SECORE International, Laboratorio Coralium, BARCO LAB, SEA ZOOM, BARCO A.C. y colaboradores independientes como Contreras Silva y Pepe Funes (Fig. 3).

Con la permanencia de las fundadoras de la brigada y la incorporación gradual de nuevas integrantes, se favorecieron mecanismos de transferencia de conocimiento, aprendizaje colectivo y distribución de responsabilidades operativas. La organización interna se caracterizó por mecanismos participativos de toma de decisiones basados en el diálogo y el consenso. Como señaló una de las integrantes fundadoras: "la toma de decisiones era basado en el consenso de la mayoría". De forma complementaria a los talleres formales recibidos mediante el PROREST, la brigada desarrolló procesos propios de autoformación y organización interna que no dependían de instancias externas. Entre los mecanismos utilizados se incluyeron clases teóricas y prácticas, así como evaluaciones para verificar el dominio de las técnicas de monitoreo, lo que reforzó la continuidad operativa del grupo pese a los cambios de brigadistas y a las exigencias logísticas del trabajo de campo.

La rotación y el ingreso de nuevas brigadistas funcionó como un mecanismo de renovación interna, incorporando nuevas perspectivas y destrezas tecnológicas emergentes que diversificaron las capacidades del grupo. Este desarrollo de capacidades no respondió exclusivamente a procesos formales de capacitación, sino también a dinámicas de aprendizaje entre pares, en las que integrantes con mayor experiencia acompañaron la incorporación de nuevas participantes. Un ejemplo fue la integración de una brigadista sin formación previa en monitoreo, quien inicialmente participó en actividades de vigilancia comunitaria y, mediante el acompañamiento del grupo, desarrolló habilidades para el trabajo de campo y el uso de herramientas de monitoreo. Como expresó una de las entrevistadas: "La integrante no cuenta con una preparación previa de monitoreo, pero es quien más ánimo y energía tiene, en estos años aprendió a hacer apneas, utilizar el GPS e identificar algunos organismos a nivel de especie o grupo". Este proceso permitió que las brigadistas de reciente ingreso asumieran progresivamente funciones de coordinación logística y organización de actividades de campo. Como mencionó una de las entrevistadas con mayor tiempo de permanencia: "mi sueño era de que al final las chicas que iban empezando fueran capaces de organizar [...] una salida. Y así fue. Una de las últimas salidas de 2025 fue organizada completamente por las chicas de nuevo ingreso y ellas tomaron las decisiones de salir, tomaron decisiones a dónde ir".

**Resultados clave del monitoreo biológico:** La ejecución de las actividades de la brigada entre 2019 y 2025, se dio en el contexto de la ocurrencia sucesiva de cuatro grandes tipos de perturbaciones que afectaron fuertemente los arrecifes del PNAPM: el avance regional de la enfermedad de pérdida de tejido en corales duros (SCTLD), el impacto de los huracanes Gamma, Delta y Zeta en octubre de 2020 y Grace en agosto de 2021, el desarrollo del cuarto evento global de blanqueamiento coralino, y el impacto de epizootias localizadas en 2025 (Fig. 4).

Con respecto a la SCTLD, se realizó un muestreo rápido en los cuatro sitios prioritarios del PNAPM, mencionados previamente (Tabla S2), donde se realizaron tres monitoreos exhaustivos por sitio (julio, agosto y noviembre), registrando un total de 2 867 colonias de coral, de las cuales 298 estaban enfermas y 182 fueron registradas completamente muertas a causa de la enfermedad.

Debido al impacto de tres huracanes en el año 2020 (Gamma Cat. 1, Delta Cat. 2 y

Zeta Cat. 1) y uno en 2021 (Grace Cat. 1), se realizaron evaluaciones extraordinarias post-huracanes a corto plazo (realizadas entre 4 y 15 días posteriores a cada evento, una vez restablecidas las condiciones mínimas de seguridad para la navegación). Estas evaluaciones implicaron ajustar el plan de trabajo original para documentar el daño de sitios prioritarios como Limones, donde se encontraron múltiples fragmentos de *A. palmata*, varias colonias volteadas, gorgonáceos y esponjas desprendidas, y acumulaciones de escombro coralino.

En respuesta a las alertas tempranas de estrés térmico de 2023, la brigada intensificó el esfuerzo de muestreo desde julio con el objetivo de generar información oportuna sobre la magnitud del blanqueamiento en diferentes especies en los sitios Limones, Bonanza, Tanchacté Norte, Tanchacté Sur, La Bocana, Radio Pirata, Jardines y La Pared (Tabla S2). Bonanza, Tanchacté Norte y La Bocana fueron los sitios con mayor afectación, con 90% de las colonias registradas con blanqueamiento, seguidos de Tanchacté Sur, Radio Pirata y La Pared con 56%, 76% y 67% de afectación, mientras que Limones y Jardines presentaron menor afectación con 38% y 44% de las colonias registradas con blanqueamiento. Los géneros de corales más afectados fueron *Acropora sp.* y *Millepora* sp. con 51% y 42% de las colonias identificadas como recientemente muertas debido al blanqueamiento y 47% y 56% con signos de blanqueamiento, respectivamente.

Debido a la alta mortandad de *A. palmata* en 2023, la brigada integró en sus objetivos de 2024 una prospección más extensa dentro del polígono del PNAPM mediante la técnica de manta-tow (Miller et al., 2009, ver Material Suplementario) en el arrecife frontal. Esta técnica de gran cobertura espacial propició explorar eficientemente amplias zonas de entre 5-10 m de profundidad y localizar parches sanos de esta especie y de otros corales constructores. A partir de estos monitoreos se registraron las coordenadas de varios parches de *A. palmata* en la zona frontal del arrecife, principalmente al norte del PNAPM.

En 2025, ante una epizootia en el sitio Limones, uno de los sitios con mayor cobertura de *A. palmata* en todo el Caribe mexicano, se activaron los monitoreos para evaluar el avance de la enfermedad. Se identificó un pico de incidencia de la enfermedad en septiembre con 21% con signos de enfermedad y 16% de las colonias con mortalidad parcial reciente. Para noviembre, se registró una menor cantidad (5%) de colonias con mortalidad reciente, lo que sugirió una disminución de las lesiones activas.

Los ajustes realizados a las actividades de monitoreo, en respuesta a eventos puntuales, derivó en la generación de información que contribuyó a la toma de decisiones de manejo del PNAPM en los siguientes procesos: 1) entrega de bases de datos e informes técnicos a la CONANP, presentados en sesiones anuales del Consejo Asesor entre 2019 y 2025, siendo clave para la toma de decisiones informada por parte de la Dirección del PNAPM; 2) reorientación del esfuerzo de monitoreo hacia arrecifes frontales con presencia de *Acropora palmata*, a partir de los patrones espacio-temporales documentados en años previos y de la identificación de sitios prioritarios de conservación con base en la serie histórica de datos; 3) fundamentación técnica para la activación de acciones de respuesta inmediata y restauración, tras los huracanes Delta (2020) y Grace (2021), orientando las prioridades de intervención de la brigada de contingencia y restauración en el marco del Componente de Protección y Restauración de los Recursos Naturales del Programa de Manejo del PNAPM (Instituto Nacional de Ecología, 2000); 4) detección temprana y seguimiento del brote de pérdida de tejido en *A. palmata* en Limones (2025), que permitió documentar su evolución y confirmar su desaceleración; 5) provisión de la evidencia técnica sobre blanqueamiento y mortalidad coralina que sustentó el cierre precautorio de subzonas arrecifales a la visitación turística por parte de la autoridad ambiental; y 6) respaldo técnico para el desarrollo e implementación del Plan de Acción del Síndrome Blanco en Arrecifes del Caribe Mexicano (CONANP, 2019a), como base para la formulación del proyecto

"Conservación y restauración de los ecosistemas marino-costeros del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos", en el marco de la Fase III del programa Protección de los Recursos Marítimos en América Central (MAR Fund, 2026) así como la coordinación de acciones de respuesta inmediata en colaboración con distintas instituciones, como la SEMAR, Municipio Puerto Morelos, IMIPAS, Healthy Reef Initiative, MAR Fund, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, UNAM, entre otras .

El monitoreo biológico fue dinámico, con la incorporación progresiva de nuevos objetivos, indicadores y grupos biológicos a lo largo del tiempo, integrando gradualmente protocolos utilizados en programas de monitoreo regionales e internacionales para evaluar las comunidades coralinas, bentónicas, peces arrecifales y pastos marinos. El seguimiento constante de sitios prioritarios permitió identificar diferencias espacio-temporales en la condición arrecifal a partir de cuatro indicadores clave del estado de salud arrecifal: 1) cobertura coralina, como proxy de la estructura y complejidad del hábitat; 2) densidad de reclutas, como indicador del potencial de recuperación natural; 3) cobertura de macroalgas, como medida de la competencia espacio-bentónica y nivel de degradación; y 4) biomasa de peces, como indicador de la funcionalidad trófica. Los monitoreos más recientes mostraron variaciones espaciales marcadas entre estos componentes a lo largo del parque (Tabla 1). En cuanto al bentos, se identificó un marcado contraste espacial en la cobertura de coral vivo y macroalgas, destacando los sitios del norte, en particular Limones (26.3%) y Manchones Norte (16.3%), los cuales mantuvieron las coberturas coralinas más altas del PNAPM. En contraste, la mayoría de los sitios presentaron coberturas por debajo del 10%, acompañadas de una alta dominancia de macroalgas que superó el 40% en unidades como Tanchacté Norte (56.0%), Bonanza (50.1%) y La Bocana (44.0%). Por su parte, en general, el reclutamiento coralino mostró una densidad baja de reclutas, exceptuando Bonanza y La Pared con 3.4 ind/$m^2$ y 2.5 ind/$m^2$, respectivamente. Los sitios del centro y sur del parque presentaron mayores valores de biomasa de peces que los sitios del norte (Tabla 1) sobresaliendo Fish Market (28.6 kg/100$m^2$), La Bocana (19.2 kg/100$m^2$) y Jardines Profundo (18.8 kg/100$m^2$).

**Vínculos con autoridades y otros actores:** El vínculo institucional de la brigada con las autoridades del PNAPM se estableció desde

**Tabla 1**

Resumen de los indicadores clave de salud arrecifal derivados de los monitoreos más recientes realizados por la brigada comunitaria. / **Table 1.** Key reef health indicators summary, derived from the most recent monitoring data done by the community brigade.

| Sitio | Último año de muestreo | Coral (%) | Dens. reclutas (ind./$m^2$) | Macroalgas (%) | Biomasa peces (kg/100 $m^2$) |
|---|---|---|---|---|---|
| Limones | 2025 | 26.3 | 0.02 | 22.1 | 5.2 |
| Manchones norte | 2025 | 16.3 | 0.05 | 42.5 | 3.48 |
| Bonanza | 2024 | 4.3 | 3.4 | 50.1 | 14.5 |
| Bonanza profundo | 2025 | 11 | 0.2 | 48.8 | 4.4 |
| Tanchacté norte | 2024 | 3.1 | 0 | 56 | 11.6 |
| Tanchacté | 2025 | 7.2 | 0.1 | 29.3 | 3.62 |
| Tanchacté sur | 2024 | 4 | 0.6 | 27 | 8.7 |
| La Bocana | 2024 | 6.6 | 0.6 | 44 | 19.2 |
| Radio Pirata | 2024 | 7 | 0.4 | 25 | 16.4 |
| Jardines | 2024 | 9 | 0.3 | 38 | 18.3 |
| Jardines profundo | 2025 | 7.5 | 0.1 | 41.5 | 18.8 |
| La Pared | 2024 | 10 | 2.5 | 15 | 14.4 |
| Fish Market | 2025 | 2.7 | 0.08 | 41.8 | 28.6 |

el inicio del proyecto de la brigada en 2019, a través de los reportes generados en respuesta a la SCTLD. Un primer paso hacia la vinculación comunitaria ocurrió en 2020 cuando la documentación del daño arrecifal causado por los huracanes derivó en la primera estrategia de divulgación social del proyecto para visibilizar el estado del arrecife con la comunidad local. Posteriormente, el monitoreo de la brigada al blanqueamiento de 2023 amplió este vínculo institucional, incorporando la participación en reuniones con autoridades del PNAPM e integrantes de la academia, donde los datos generados por la brigada sirvieron como insumo para discutir el estado del arrecife y posibles acciones de seguimiento. En paralelo, se construyeron redes de colaboración con organizaciones como Comunidad y Biodiversidad A.C. (COBI), Healthy Reefs for Healthy People, Corales Vivos, Corales Tulum, BARCO LAB, Raíces Marinas y Laboratorio Coralium, las cuales ampliaron tanto el alcance del monitoreo como las posibilidades de colaboración y respuesta ante eventos críticos. Estas relaciones surgieron y se fortalecieron principalmente a partir de dos factores, por un lado, el trabajo compartido en campo, el intercambio de experiencias, las capacitaciones conjuntas y la participación coordinada en actividades de monitoreo y respuesta ante contingencias ambientales. Un aspecto fundamental, por otro lado, fue el arraigo de varias integrantes en Puerto Morelos, algunas de quienes han vivido y trabajado en los arrecifes del PNAPM desde hace 10 años, y su participación previa en actividades sociales, comunitarias, ambientales y de educación ambiental dentro de la localidad.

Algunas de estas colaboraciones derivaron en proyectos y actividades desarrolladas más allá de las acciones inicialmente planteadas dentro del PROREST. Para las integrantes de la brigada, este proceso tuvo especial relevancia, ya que representó una forma gradual de reconocimiento y confianza hacia el trabajo realizado en campo, así como hacia los datos y capacidades construidas colectivamente a través del monitoreo arrecifal. Lo anterior fortaleció el compromiso y el esmero con el que muchas de las actividades comenzaron a desarrollarse, al tiempo que permitió que la brigada fuera identificándose progresivamente como parte de los actores locales involucrados en el monitoreo y conservación arrecifal de la región. La continuidad de estas acciones y redes de colaboración ha sido posible gracias al acompañamiento de la CONANP, a través del PROREST, que ha brindado soporte institucional y financiero al programa desde sus inicios.

**Aprendizajes transferibles:** La historia de la brigada también evidenció múltiples desafíos presupuestales operativos y logísticos. Durante los primeros años, una limitante importante fue la disponibilidad reducida de equipo y materiales necesarios para el monitoreo. Parte de estas necesidades fueron resueltas mediante préstamos y colaboraciones con laboratorios de investigación, organizaciones locales y personas vinculadas al trabajo arrecifal en Puerto Morelos, así como mediante el uso parcial de equipo personal de las integrantes. Durante 2020, la implementación de restricciones derivadas de la pandemia por COVID-19 generó incertidumbre sobre la continuidad del proyecto. Sin embargo, las actividades lograron mantenerse bajo protocolos estrictos de seguridad, representando además uno de los pocos espacios que permitió a varias integrantes seguir accediendo al arrecife durante este período, etapa en la cual tanto las salidas académicas como las turísticas estaban suspendidas. De igual forma, el recambio de brigadistas implicó un esfuerzo continuo de capacitación y estandarización metodológica. La disponibilidad de tiempo de las integrantes estuvo constantemente sujeta a sus actividades laborales, académicas y personales. Otras circunstancias a las que fue necesario enfrentarse y adaptarse incluyeron condiciones meteorológicas adversas (tales como eventos de huracanes o tormentas), la reprogramación de salidas de campo y periodos de indisponibilidad temporal de algunas integrantes debido a enfermedad, lesiones y otras situaciones personales, incluyendo embarazo, maternidad, y cuidado de familiares. Situaciones que fueron atendidas mediante la redistribución de

tareas y, en algunos casos, mediante la incorporación temporal de colaboradores con experiencia en monitoreo.

## DISCUSIÓN

La trayectoria documentada refleja cómo una brigada comunitaria, a lo largo de seis años de trabajo en el Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos (2019-2025), desarrolló y consolidó procesos continuos de monitoreo, capacitación y divulgación en un contexto marcado por perturbaciones ecológicas recurrentes y limitaciones operativas. Incluyendo el avance de la SCTLD, impacto por huracanes, arribazones masivos de sargazo, blanqueamiento coralino y epizootias localizadas, así como por las limitaciones operativas asociadas a la pandemia por COVID-19. Más allá de la generación de datos biológicos, la experiencia evidencia la importancia de la presencia continua, el aprendizaje colectivo y la construcción gradual de capacidades locales para sostener procesos de respuesta rápida y monitoreo adaptativo dentro de Áreas Naturales Protegidas.

Uno de los principales aportes de este estudio es que la brigada de monitoreo trascendió la función de generar información biológica para consolidarse como un espacio de acción colectiva y coproducción de conocimiento orientado a la conservación arrecifal. La participación de la brigada, en coordinación con autoridades ambientales, instituciones académicas y fundaciones, permitió generar su propia experiencia de gobernanza, al articular capacidades profesionales, experiencia local y colaboración de personas no especialistas en torno a un objetivo común de conservación. Esta dinámica coincide con enfoques de monitoreo comunitario en los que la producción de datos se vincula con procesos de aprendizaje social, fortalecimiento de capacidades y participación en la gestión ambiental (Conrad & Hilchey, 2011; Danielsen et al., 2022). La trayectoria de la brigada muestra, la articulación de acuerdos desde la sociedad civil, que puede generar su propia experiencia de gobernanza participativa y ambiental (Puga, 2021), sustentada en mecanismos internos de consenso, que ejemplifican un liderazgo distribuido en el que las decisiones se construyen colectivamente antes de realizarse. Con el fin de sintetizar los principales procesos organizativos identificados durante la reconstrucción histórica de la brigada, la Tabla 2 integra evidencia cualitativa y su relación con el marco conceptual de este documento.

El surgimiento de la brigada ocurrió en un escenario regional enmarcado por el avance de la SCTLD y por la necesidad inmediata de generar información sobre el estado del arrecife dentro del PNAPM. A partir de esta respuesta inicial, la brigada incorporó progresivamente nuevas actividades, componentes de monitoreo y formas de articulación con distintos actores académicos, comunitarios e institucionales. Este tipo de escenarios coincide con lo reportado para otras brigadas comunitarias en ecosistemas costeros, donde perturbaciones agudas como huracanes, enfermedades coralinas o eventos de blanqueamiento funcionan como detonantes para la organización local y la implementación de acciones de monitoreo y respuesta rápida, las cuales frecuentemente evolucionan hacia estructuras organizativas más consolidadas y sostenidas en el tiempo (Madrigano et al., 2018; Merino, 2018; Aguilar-Martínez et al., 2021). En el contexto regional, este patrón se refleja en el desarrollo de las brigadas de respuesta post-huracán en Quintana Roo, impulsadas por la CONANP en colaboración con The Nature Conservancy y el Fondo del Sistema Arrecifal Mesoamericano (MAR Fund), con brigadas en Cancún, Puerto Morelos, Cozumel, Mahahual y Banco Chinchorro (CONANP, 2019b; CONANP 2025).

La consolidación de la brigada también estuvo asociada a factores como el acompañamiento institucional mediante programas públicos, la colaboración con organizaciones civiles y academia, y la existencia de redes sociales locales de colaboración previamente establecidas, que facilitaron la coordinación y el acceso a apoyos y servicios necesarios para sus actividades (Fulton et al., 2019). En este sentido, el PROREST funcionó como un mecanismo

**Tabla 2**

Procesos organizativos identificados en la consolidación de la brigada y su relación con el marco conceptual. Proceso organizativo, se refiere a las dinámicas clave identificadas por la brigada en la organización y funcionamiento interno de la misma. Evidencia del caso, describe cómo estas dinámicas se manifestaron concretamente en las prácticas, decisiones y experiencias de la brigada. Interpretación analítica, sintetiza el significado de estas expresiones para comprender su desarrollo organizativo. Marco conceptual, señala los conceptos de la literatura con los que se relacionan e interpretan los procesos identificados. / **Table 2.** Organizational processes identified in the consolidation of the community brigade and their relationship with the conceptual framework. Organizational process, refers to the key dynamics identified by the brigade in its internal organization and functioning. Case evidence, describes how these dynamics were concretely manifested in the brigade's practices, decisions, and experiences. Analytical interpretation, synthesizes the meaning of these expressions to understand its organizational development. Conceptual framework, indicates the concepts from the literature to which the identified processes are related and through which they are interpreted.

| Proceso organizativo | Evidencia del caso | Interpretación analítica | Marco conceptual |
|---|---|---|---|
| Conformación de la brigada | La brigada surge a partir de una invitación de la CONANP, pero son las integrantes quienes aceptan, organizan el grupo y sostienen su continuidad. | La iniciativa institucional evolucionó hacia una organización con capacidad propia de coordinación y permanencia. | Acción colectiva; monitoreo comunitario |
| Liderazgo y organización interna | Las decisiones se discutían entre las integrantes y se resolvían por consenso o mayoría. | El liderazgo se ejerce de manera distribuida y participativa, privilegiando mecanismos colectivos de deliberación antes que estructuras jerárquicas. | Gobernanza participativa; liderazgo distribuido con perspectiva de género |
| Renovación, transferencia de capacidades | La brigada incorporó nuevas integrantes conforme cambiaron las circunstancias personales de las fundadoras, manteniendo la continuidad del monitoreo. | La permanencia del grupo no depende de personas específicas, sino de la capacidad colectiva para reorganizar funciones, transferir capacidades y asegurar la continuidad del grupo. | Capacidad de agencia; fortalecimiento de capacidades de la brigada |
| Integración de conocimientos y experiencias | El proyecto comenzó bajo el acompañamiento técnico de CONANP y posteriormente incorporó aprendizajes construidos entre la brigada, la academia y otros actores. | El conocimiento científico y la experiencia de las brigadistas se integraron progresivamente para sostener el monitoreo y la conservación. | Coproducción de conocimiento |
| Aprendizaje, participación y apropiación | Una integrante sin formación técnica previa en monitoreo arrecifal fue incorporándose gradualmente, aprendiendo técnicas de campo, uso de GPS y reconocimiento de especies. | El monitoreo dejó de ser una actividad exclusiva de especialistas y se convirtió en una práctica compartida, favoreciendo el sentido de pertenencia y la continuidad de la brigada. | Ciencia ciudadana; apropiación comunitaria |
| Aprendizaje social y manejo adaptativo | La brigada ajustó su integración, distribución de tareas y formas de trabajo conforme evolucionaron las necesidades del grupo. | El aprendizaje derivado de la experiencia permitió adaptar la organización y mantener la funcionalidad del monitoreo a lo largo del tiempo. | Memoria ecológica local; manejo adaptativo |

habilitador para la formación inicial del grupo y el fortalecimiento de capacidades de monitoreo y conservación. Los programas institucionales pueden funcionar como mecanismos habilitadores para el desarrollo de capacidades locales de monitoreo y conservación, particularmente cuando logran articularse con redes comunitarias preexistentes y procesos colaborativos de largo plazo (Ortega-Álvarez et al., 2012; McCall et al., 2016; Ortega-Álvarez et al., 2017; Perera-Valderrama et al., 2020). Sin embargo, el funcionamiento de la brigada dependió

posteriormente de procesos internos de organización, apropiación de objetivos y distribución progresiva de responsabilidades, más allá del financiamiento disponible. Esto coincide con estudios que señalan que la sostenibilidad de las iniciativas comunitarias depende tanto de capacidades técnicas como de procesos de cohesión social y gobernanza colaborativa (Danielsen et al., 2009; Neger & Crespo-Guerrero, 2021).

La mejora y desarrollo de las capacidades técnicas y organizativas de la brigada, ilustra cómo el aprendizaje colaborativo y las alianzas interinstitucionales incrementan la incidencia del monitoreo comunitario en la gobernanza ambiental y facilitan la apropiación social del conocimiento generado (Fernández-Giménez et al., 2008; Merino & Martínez, 2012). Asimismo, la combinación entre la permanencia de integrantes con mayor experiencia y la incorporación de nuevas participantes es un componente central en la sostenibilidad de iniciativas comunitarias de monitoreo, particularmente en contextos ambientales altamente variables, donde la capacidad de adaptación organizativa resulta tan importante como la capacidad técnica (Fernández-Giménez et al., 2008; Danielsen et al., 2009). La continuidad de una parte de las brigadistas fundadoras estuvo asociada, a que la brigada estuvo conformada por mujeres con una relación cotidiana y prolongada con el arrecife y la comunidad de Puerto Morelos, algunas de las cuales han vivido y trabajado en los arrecifes del PNAPM desde hace más de 10 años. Esta vinculación favoreció procesos de apropiación, continuidad y compromiso con las actividades de monitoreo y conservación. Distintos estudios han señalado que la participación de mujeres en iniciativas ambientales fortalece las redes de cooperación, diversifica conocimientos y mejora la resiliencia organizativa de los proyectos comunitarios (Westermann et al., 2005; Giakoumi et al., 2021). En este caso, la brigada funcionó, además, como un espacio de fortalecimiento de capacidades, liderazgo e impulso la capacidad de agencia, entendida como la capacidad para tomar decisiones y actuar de manera autónoma, tanto en el ámbito organizativo como en el ambiental. La participación de personas locales en estas brigadas resulta especialmente relevante, ya que son quienes dependen directamente de los bienes y servicios que proveen los ecosistemas y quienes se benefician de su conservación a largo plazo. Por ejemplo, en otros contextos comunitarios, se ha reportado que el sentido de pertenencia y la estrecha relación de los pescadores con los arrecifes de los que dependen favorece un mayor compromiso y corresponsabilidad en las acciones de monitoreo y conservación comunitaria, todo lo cual robustece también la continuidad de estos esfuerzos mediante de la incorporación y capacitación de nuevas generaciones (Fulton et al., 2018; Fulton et al., 2019). El arraigo local también favorece las respuestas coordinadas ante perturbaciones a nivel regional. Atendiendo estas necesidades, en Quintana Roo existen otras brigadas con redes homólogas bajo esquemas de política pública (PROREST y PROCODES), tales como Guardianes del Arrecife y Corales Vivos Cozumel. Este surgimiento de grupos ilustra cómo el modelo de brigadas comunitarias financiadas por programas públicos funciona como mecanismo de replicación de capacidades locales (Rodríguez-Martínez, 2008). Dentro de este esquema de habilitación operativa, la principal vía a través de la cual estas capacidades locales se concretan en acciones de conservación es la generación de ciencia comunitaria.

El monitoreo biológico representó el eje principal de la organización y trabajo de la brigada. Los registros generados permitieron documentar indicadores ecológicos: cobertura coralina, cobertura de macroalgas, densidad de reclutas coralinos y biomasa de peces arrecifales. Los datos obtenidos evidenciaron diferencias espaciales importantes entre los sitios del Parque. Por ejemplo, para el último año evaluado (2025), algunos arrecifes como Limones, mantuvieron coberturas coralinas relativamente altas (~26%), mientras que otros sitios como Fish Market, presentaron coberturas coralinas bajas (~3%) y una elevada biomasa de peces (>28 kg/100 $m^2$). De igual manera, los monitoreos permitieron documentar respuestas diferenciadas entre especies coralinas ante

el impacto de epizootias, olas de calor y huracanes. Por ejemplo, mientras que especies masivas respondieron negativamente a enfermedades como el SCTLD, las especies ramosas mostraron mayores afectaciones asociadas al impacto de huracanes y eventos de blanqueamiento. Al mismo tiempo, la condición de flexibilidad y el cambio en las condiciones de necesidades de monitoreo permitieron incorporar temporalmente nuevos componentes ecológicos, como las evaluaciones de nutrientes en 2020, el monitoreo de pastos marinos en 2023 y la expansión hacia nuevos sitios del frontal arrecifal entre 2024 y 2025. Este tipo de monitoreo comunitario sostenido permite construir registros ecológicos continuos capaces de detectar cambios espaciales y tendencias temporales (Forrester et al., 2015). La confiabilidad de esta información se sustenta en la combinación entre protocolos estandarizados y la experiencia de campo consolidada por las brigadistas a lo largo de los años mediante procesos continuos de capacitación, lo cual ejemplifica un proceso de coproducción de conocimiento en el que el conocimiento técnico-científico y la experiencia local se articularon para generar información ecológica confiable y de utilidad para la gestión del PNAPM. En este sentido, Gouraguine et al. (2019), encontraron que monitoreos desarrollados por voluntarios locales durante más de diez años en arrecifes tropicales generaron información suficientemente sólida para documentar transformaciones ecosistémicas relevantes y apoyar procesos de manejo y conservación.

La continuidad de las actividades de monitoreo favoreció la construcción de memoria ecológica local, entendida como la acumulación de observaciones, experiencias y aprendizajes colectivos sobre las transformaciones de un ecosistema en el tiempo (Berkes et al., 2000). Esta memoria no se expresa únicamente como acumulación de información, sino como una capacidad colectiva para interpretar transformaciones ambientales y, en consecuencia, ajustar las prácticas de monitoreo. Frente a un escenario de cambio acelerado, funcionó como un sistema de alerta indispensable para reconocer anomalías específicas, tales como las distintas epizootias de *A. palmata* en 2022 y 2025, el incremento de tapetes de cianobacterias en 2023, y el seguimiento a los sitios afectados por huracanes y blanqueamiento. La capacidad de detección oportuna sobre cómo los organismos o sitios responden de manera diferencial ante amenazas conjuntas proporciona herramientas a los manejadores en la priorización de recursos y la toma de decisiones basadas en evidencia. Por lo tanto, aunque las brigadas comunitarias dependen de un financiamiento de corto plazo, siguen manteniendo una presencia continua en el territorio y, con ella, una línea base de observación construida a lo largo de años, la cual es difícil de replicar mediante esquemas institucionales o académicos, que suelen operar con personal rotativo y visitas acotadas a periodos de financiamiento o campañas puntuales. En este sentido, la experiencia de la brigada puede entenderse como una forma de manejo adaptativo, en la medida en que la información generada mediante el monitoreo retroalimentó la organización interna, la colaboración interinstitucional y las acciones de conservación, favoreciendo procesos de adaptación social y ecológica frente a escenarios de cambio climático (Berkes et al., 2000; Berkes, 2009; Folke et al., 2005; Armitage et al., 2009).

La consolidación de la estructura organizacional y el aumento de integrantes también permitió que la brigada extendiera su incidencia hacia la comunidad mediante la socialización del conocimiento, al repartir las actividades de generación de material de divulgación y educación ambiental entre un mayor número de integrantes. Esto incluyó la creación y gestión de redes sociales (Facebook e Instagram), donde se compartió contenido sobre temas como enfermedades coralinas, huracanes y biología básica de los corales, así como la participación en ferias ambientales y congresos mediante la presentación de carteles científicos (Tabla S3). La divulgación en redes sociales se intensificó notablemente con el tiempo: de publicaciones esporádicas en 2020, centradas en el formato de texto e imagen, la brigada transitó hacia un

ritmo de publicación semanal desde 2024 a la fecha, incorporando además formatos audiovisuales como video-reels e infografías interactivas (Tabla S4). La brigada también incorporó plataformas de ciencia ciudadana como iNaturalist para el registro público de observaciones biológicas, alcanzando 466 observaciones de 139 especies en 2022 y 508 observaciones de 132 especies en 2025, ampliando así el alcance de la información generada más allá de los canales de divulgación propios. La transferencia de la información hacia la sociedad a través de actividades de divulgación y educación ambiental constituye una estrategia para vincular y sensibilizar a la comunidad promoviendo su participación en la toma de decisiones del territorio para su conservación y manejo (Martin et al., 2016; Johnson et al., 2020; O'Connor et al., 2024). Estas acciones promueven la influencia de la comunidad en los resultados de los procesos políticos y de gestión, por ejemplo, apoyando la creación y manejo de Áreas Naturales Protegidas o contribuyendo a frenar iniciativas de desarrollos turísticos e inmobiliarios que representen una amenaza para el bienestar del ecosistema y por ende de la sociedad (Rodríguez-Martínez, 2008).

Más allá de su contribución al monitoreo ecológico, la experiencia de la brigada demuestra que el monitoreo comunitario puede constituir una estrategia para fortalecer capacidades colectivas orientadas a la conservación, particularmente cuando existe articulación entre comunidad, academia y autoridades ambientales (Cadena-Roa et al., 2012; Burgos et al., 2013). En el caso del PNAPM, esta articulación permitió consolidar un proceso continuo de aprendizaje, colaboración y generación de conocimiento en favor de la conservación arrecifal. Bajo esta perspectiva, las brigadas representan espacios de gobernanza participativa, donde la participación social trasciende la consulta y se convierte en un compromiso continuo de observación, organización y corresponsabilidad ambiental, aportando evidencia sobre el potencial del monitoreo comunitario para construir capacidades sociales que contribuyen a la conservación de los ecosistemas a largo plazo. En un periodo marcado por perturbaciones arrecifales recurrentes, la brigada logró mantener la continuidad del monitoreo, ampliar sus capacidades técnicas y organizativas y generar información que contribuyó al seguimiento y a la toma de decisiones dentro del PNAPM.

**Declaración de ética:** Los autores declaran que todos están de acuerdo con esta publicación y que han hecho aportes que justifican su autoría; que no hay conflicto de interés de ningún tipo; y que han cumplido con todos los requisitos y procedimientos éticos y legales pertinentes. Todas las fuentes de financiamiento se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecemos a la CONANP, al personal del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos y al Programa para la Protección y Restauración de Ecosistemas y Especies Prioritarias por los subsidios otorgados: PROREST/VMC/129/2019, PROREST/CC/1170/2020, PROREST/CC/1158/2021, PROREST/CC/1221/2022, PROREST/CC/1301/2023, PROREST/CC/0004/2024 y PROREST/CC/576/2025. Se agradece la colaboración de todas las personas que han apoyado y colaborado dentro de este proyecto, ya sea mediante asesoría, capacitaciones, toma de datos, renta de embarcaciones, y capitanes: Octavio Granados González, María del Rocío Bravo, Adanely Horta, Cap. Luis Ramos, Lorenzo Álvarez Filip, Alexis Medina Valmaseda, Manuel Victoria, Cap. Francisco Castillo, Enrique Gallegos, Omar Sandoval, Cettina Cantú, Aurora Albarrán, Tania Islas, Sara Melo Merino, Omar Rivera, José Luis P. Funes Izaguirre, Claudia Padilla, Ameris Contreras, Cap. David Sánchez, Cap. Chalo Gonzalo, Cap. Julio Canche, Cap. Rafael Sánchez, Anastazia T. Banaszak, Fernando Negrete Soto, Elizabeth Cabrera Rivera, Raúl Tecalco, Gabriela López, BARCO

A.C., Sea Zoom, Dorado Buceo, Healthy Reefs for Healthy People Initiative, CEMDA, e IMIPAS.

## REFERENCIAS


Aeby, G. S., Ushijima, B., Campbell, J. E., Jones, S., Williams, G. J., Meyer, J. L., Häse, C., & Paul, V. J. (2019). Pathogenesis of a Tissue Loss Disease Affecting Multiple Species of Corals Along the Florida Reef Tract. *Frontiers in Marine Science*, (6), 1–18. https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00678

Aguilar-Martínez, S., Valtierra-Pacheco, E., González-Guillén, M. J., Salas-González, J. M., León-Merino, A., & Hernández-Juárez, M. (2021). Brigadas comunitarias para la conservación y gestión de los recursos forestales en San Miguel Topilejo, Tlalpan, Ciudad de México. *Sociedad y Ambiente, 24,* 1–24. https://doi.org/10.31840/sya.vi24.2361

Álvarez-Filip, L., Estrada-Saldívar, N., Pérez-Cervantes, E., Molina-Hernández, A., & González-Barrios, F. J. (2019). A rapid spread of the Stony Coral Tissue Loss Disease outbreak in the Mexican Caribbean. *PeerJ*, (7), 1–17. https://doi.org/10.7717/peerj.8069

Álvarez-Filip, L., González-Barrios, F. J., Pérez-Cervantes, E., Molina-Hernández, A., & Estrada-Saldívar, N. (2022). Stony coral tissue loss disease decimated Caribbean coral populations and reshaped reef functionality. *Communications Biology*, (5), 1–10. https://doi.org/10.1038/s42003-022-03398-6

Álvarez-Filip, L., Perry, C. T., Pérez-Cervantes, E., Molina-Hernández, A., de-Bakker, D. M., Webb, A. E., & Medina-Valmaseda, A. (2026). Disease and bleaching drive divergent net carbonate production across Caribbean reef systems. *Current Biology*, *36*(10), 2688-2695. https://doi.org/10.1016/j.cub.2026.04.017

Armitage, D. R., Plummer, R., Berkes, F., Arthur, R. I., Charles, A. T., Davidson-Hunt, I. J., Diduck, A. P., Doubleday, N. C., Johnson, D. S., Marschke, M., McConney, P., Pinkerton, E. W., & Wollenberg, E. K. (2009). Adaptive co-management for social-ecological complexity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, (7), 95–102. https://doi.org/10.1890/070089

Berkes, F. (2009). Evolution of co-management: Role of knowledge generation, bridging organizations and social learning. *Journal of Environmental Management*, (90), 1692–1702. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.12.001

Berkes, F., Colding, J., & Folke, C. (2000). Rediscovery of Traditional Ecological Knowledge as adaptive management. *Ecological Applications*, (10), 1251–1262. https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[1251:ROTEKA]2.0.CO;2

Birkart, L. V., & Álvarez-Filip, L. (2025). 2023 global heatwave causes mass mortality of keystone coral on shallow Western Atlantic reefs. *iScience*, (28), 7. https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.113722

Bonney, R., Cooper, C. B., Dickinson, J., Kelling, S., Phillips, T., Rosenberg, K. V., & Shirk, J. (2009). Citizen science: A developing tool for expanding science knowledge and scientific literacy. *BioScience*, (59), 977–984. https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.11.9

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative research in psychology, 3*(2), 77-101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

Braun, V., & Clarke, V. (2021). To saturate or not to saturate? Questioning data saturation as a useful concept for thematic analysis and sample-size rationales. *Qualitative research in sport, exercise and health, 13*(2), 201-216. https://doi.org/10.1080/2159676X.2019.1704846

Brenner, L. (2020). La gestión participativa de Áreas Naturales Protegidas mexicanas. *Revista Mexicana De Sociología, 82*(2). https://doi.org/10.22201/iis.01882503p.2020.2.58147

Burgos, A., Páez, R., Carmona, E., & Rivas, H. (2013). A systems approach to modeling Community-Based Environmental Monitoring: A case of participatory water quality monitoring in rural Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment, 185*, 10297–10316. https://doi.org/10.1007/s10661-013-3333-x

Cadena-Roa, J., Luna, M., & Puga, C. (2012). Associational performance: The influence of cohesion, decision-making, and the environment. *VOLUNTAS: International Journal of Voluntary and Nonprofit Organizations, 23*(4), 993–1013. https://doi.org/10.1007/s11266-011-9246-9

Carte, L., McWatters, M., Daley, E., & Torres, R. (2010). Experiencing agricultural failure: Internal migration, tourism and local perceptions of regional change in the Yucatan. *Geoforum, 41*(5), 700-710. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2010.03.002

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas & Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2005). Protocolo de Monitoreo No. 43: Monitoreo de arrecifes coralinos del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, Quintana Roo (Anexo 2). En: *Programa Permanente de Monitoreo de Arrecifes. México.* SEMARNAT-CONANP. https://www.conanp.gob.mx/programas/pdf/mon_43.pdf

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2019a). *Plan de Acción del Síndrome Blanco en Arrecifes del Caribe Mexicano.* CONANP; Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. https://www.conanp.gob.mx/cambioclimatico/PlanDeAccionSindromeBlanco.pdf

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2019b). *Quintana Roo asegura sus arrecifes y playas contra*

*huracanes* [Comunicado de prensa]. Gobierno de México. https://www.gob.mx/conanp/prensa/quintana-roo-asegura-sus-arrecifes-y-playas-contra-huracanes-203530

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (12 de mayo de 2025). *La Conanp capacita a brigadistas de los arrecifes de coral de Banco Chinchorro y Arrecifes de Xcalak* [Comunicado de prensa]. Gobierno de México. https://www.gob.mx/conanp/prensa/la-conanp-capacita-a-brigadistas-de-los-arrecifes-de-coral-de-banco-chinchorro-y-arrecifes-de-xcalak.

Conrad, C. C., & Hilchey, K. G. (2011). A review of citizen science and community-based environmental monitoring: Issues and opportunities. *Environmental Monitoring and Assessment*, (176), 273–291. https://doi.org/10.1007/s10661-010-1582-5

Danielsen, F., Burgess, N. D., Balmford, A., Donald, P. F., Funder, M., Jones, J. P. G., Alviola, P., Balete, D. S., Blomley, T., Brashares, J., Child, B., Enghoff, M., Fjeldså, J., Holt, S., Hübertz, H., Jensen, A. E., Jensen, P. M., Massao, J., Mendoza, M. M., & Yonten, D. (2009). Local participation in natural resource monitoring: A characterization of approaches. *Conservation Biology*, (23), 31–42. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.01063.x

Danielsen, F., Eicken, H., Funder, M., Johnson, N., Lee, O., Theilade, I., & Burgess, N. D. (2022). Community monitoring of natural resource systems and the environment. *Annual review of environment and resources, 47*(1), 637-670. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-022325

Estrada-Saldívar, N., Jordán-Dahlgren, E., Rodríguez-Martínez, R. E., Perry, C. T., & Álvarez-Filip, L. (2019). Functional consequences of the long-term decline of reef-building corals in the Caribbean: evidence of across-reef functional convergence. *Royal Society Open Science*, (6), 1–15. https://doi.org/10.1098/rsos.190298

Fernández-Giménez, M. E., Ballard, H. L., & Sturtevant, V. E. (2008). Adaptive management and social learning in collaborative and community-based monitoring: A study of five community-based forestry organizations in the western USA. *Ecology and Society*, (13). https://doi.org/10.5751/ES-02400-130204

Folke, C., Hahn, T., Olsson, P., & Norberg, J. (2005). Adaptive governance of social-ecological systems. *Annual Review of Environment and Resources*, (30), 441–473. https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144511

Forrester, G., Baily, P., Conetta, D., Forrester, L., Kintzing, E., & Jarecki, L. (2015). Comparing monitoring data collected by volunteers and professionals shows that citizen scientists can detect long-term change on coral reefs. *Journal for Nature Conservation, 24*, 1–9. 10.1016/j.jnc.2015.01.002

Fourqurean, J. W., Willsie, A., Rose, C. D., & Rutten, L. M. (2001). Spatial and temporal pattern in seagrass community composition and productivity in south Florida. *Marine Biology*, (138), 341–354. https://doi.org/10.1007/s002270000448

Fulton, S., Hernández-Velasco, A., Suarez-Castillo, A., Fernández-Rivera, F., Rojo, M., Sáenz-Arroyo, A., Weaver, A. H., Cudney-Bueno, R., Micheli, F., & Torre, J. (2018). From fishing fish to fishing data: the role of artisanal fishers in conservation and resource management in Mexico. En *Viability and sustainability of small-scale fisheries in Latin America and The Caribbean* (pp. 151-175). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76078-0_7

Fulton, S., López-Sagástegui, C., Weaver, A. H., Fitzmaurice-Cahluni, F., Galindo, C., Melo, F. F. R., Yee, S., Ojeda-Villegas, M. B., Fuentes, D. A., & Torres-Bahena, E. (2019). Untapped potential of citizen science in Mexican small-scale fisheries. *Frontiers in Marine Science*, (6). https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00517.

Fraisl, D., Hager, G., Bedessem, B., Gold, M., Hsing, P. Y., Danielsen, F., Hitchcock, C. B., Hulbert, J. M., Piera, J., Spiers, H., Thiel, M., Haklay, M., Wang, A. R., & Fritz, S. (2022). Citizen science in environmental and ecological sciences. *Nature Reviews Methods Primers*, (2). https://doi.org/10.1038/s43586-022-00144-4

Giakoumi, S., Pita, C., Coll, M., Fraschetti, S., Gissi, E., Katara, I., Lloret-Lloret, E., Rossi, F., Portman, M., Stelzenmüller, V., & Micheli, F. (2021). Persistent gender bias in marine science and conservation calls for action to achieve equity. *Biological Conservation*, (257*)*, 109134. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109134

González-Barrios, F. J., Cabral-Tena, R. A., & Álvarez-Filip, L. (2021). Recovery disparity between coral cover and the physical functionality of reefs with impaired coral assemblages. *Global Change Biology*, (27), 640–651. https://doi.org/10.1111/gcb.15431

Gouraguine, A., Moranta, J., Ruiz-Frau, A., Hinz, H., Reñones, O., Ferse, S. C. A., Jompa, J., & Smith, D. J. (2019). Citizen science in data and resource-limited areas: A tool to detect long-term ecosystem changes. *PLOS One*, (14), e0210007. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210007

Hernández-Aguilar, M. L., Arroyo-Arcos, L., Cuza-Sorolla, A., Oropeza-García, N. A., Campos-Cámara, B. L., Navarro-Favela, M. D. A., & Barbosa-Polanco, S. (2025). Análisis geoespacial de la violencia de género en Quintana Roo (2019-2024): aportes metodológicos. *Investigaciones geográficas*, (118). https://doi.org/10.14350/rig.61089

Hoffman, D. (2009). Institutional legitimacy and co-management of a marine protected area: Implementation lessons from the case of xcalak reefs national Park, Mexico. *Human Organization*, (68), 39–54

Instituto Nacional de Ecología. (2000). *Programa De Manejo Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, México*. SEMARNAP. https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/83_libro_pm.pdf

Johnson, J. E., Hooper, E., & Welch, D. J. (2020). Community Marine Monitoring Toolkit: A tool developed in the Pacific to inform community-based marine resource management. *Marine Pollution Bulletin*, (159), 111498. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111498

Lang, J. C., Marks, K. W., Kramer, P., Kramer, P. A., & Ginsburg, R. N. (2012). *AGRRA Protocols* (Version 5.5). The Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA) Program.

Lavariega, M. C., Ríos-Solís, J. A., Flores-Martínez, J. J., Galindo-Aguilar, R. E., Sánchez-Cordero, V., Juan-Albino, S., & Soriano-Martínez, I. (2020). Community-Based Monitoring of Jaguar (Panthera onca) in the Chinantla Region, Mexico. *Tropical Conservation Science*, (13*)*. https://doi.org/10.1177/1940082920917825

Madrigano, J., Osorio, J. C., Bautista, E., Chavez, R., Chaisson, C. F., Meza, E., Shih, R. A., & Chari, R. (2018). Fugitive chemicals and environmental justice: A model for environmental monitoring following climate-related disasters. *Environmental Justice, 11*(3), 95–100. https://doi.org/10.1089/env.2017.0044

MAR Fund Mesoamerican Reef Fund. (2026*). Conservación y restauración de los ecosistemas marino-costeros del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos: Protección de los recursos marítimos en América Central III (Fase III)* [Ficha técnica]. https://marfund.org/es/wp-content/uploads/2026/04/06-P-Morelos-ES_2026.pdf

Martin, A., Coolsaet, B., Corbera, E., Dawson, N. M., Fraser, J. A., Lehman, I., & Rodriguez, I. (2016). Justice and conservation: The need to incorporate recognition. *Biological Conservation*, (197), 254–261. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.03.021

McCall, M. K., Chutz, N., & Skutsch, M. (2016). Moving from measuring, reporting, verification (mrv) of forest carbon to community mapping, measuring, monitoring (mmm): Perspectives from Mexico. *PLOS One*, (11), 1–22. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146038

McField, M., Soto, M., Martinez, R., Giró, A., Guerrero, C., Rueda, M., Kramer, P., Roth, L., & Muñiz, I. (2024). *Mesoamerican Reef Report Card. Healthy Reefs for Healthy People*. Healthy Reefs for Healthy People. https://marfund.org/es/wp-content/uploads/2024/12/Healthy-Reefs-Report-Card.pdf

Meli, P., Spirito, F., Velasco-Linares, P., de-Siqueira, L. P., Pinto, A. C. H., Ibarguem, Y., Cabeza, L. J. R., & Gómez-Ruiz, P. A. (2026). When gender inclusion is not enough: women's contributions to ecosystem restoration in Latin America. *Restoration Ecology*, (34), 1–5. https://doi.org/10.1111/rec.70309

Méndez-López, M. E., García-Frapolli, E., Pritchard, D. J., Sánchez-González, M. C., Ruiz-Mallén, I., Porter-Bolland, L., & Reyes-Garcia, V. (2014). Local participation in biodiversity conservation initiatives: A comparative analysis of different models in South East Mexico. *Journal of Environmental Management*, (145), 321–329. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.06.028

Merino, L. (2018). Comunidades forestales en México. Formas de vida, gobernanza y conservación. *Revista Mexicana de Sociologia, 80*(4), 909–940. http://mexicanadesociologia.unam.mx/index.php/v80n4/301-v80n4a7

Merino, L., & Martínez, A. E. (2012). Derechos, Presiones y Conservación en Regiones Boscosas de México: Condiciones de las comunidades con bosques templados 27. En F. Chapela (Ed.), *Estado de los bosques de México* (pp. 144). Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible en México A.C. https://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/Estado_de_los_bosques_en_Mexico_final.pdf

Miller, I. R., Jonker, M., & Coleman, G. (2009). *Crown-of-thorns starfish and coral surveys using the manta tow and SCUBA search techniques* (Standard Operating Procedure No. 9). Australian Institute of Marine Science. https://www.aims.gov.au/sites/default/files/sop09.pdf

Molina-Hernández, A., & van-Tussenbroek B. I. (2014). Patch dynamics and species shifts in seagrass communities under moderate and high grazing pressure by green sea turtles. *Marine Ecology Progress Series, 517,* 143-157 https://doi.org/10.3354/meps11068

Norström, A. V., Cvitanovic, C., Löf, M. F., West, S., Wyborn, C., Balvanera, P., Bednarek, A. T., Bennett, E. M., Biggs, R., & de Bremond, A. (2020). Principles for knowledge co-production in sustainability research. *Nature sustainability, 3*(3), 182–190. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0448-2

Neger, C., & Crespo-Guerrero, J. M. C. (2021). Problems of the management of the Natural Protected Areas of Mexico: an analysis in the Biosphere Reserves of Los Tuxtlas and Los Petenes. *Anales de Geografia de la Universidad Complutense*, (41), 463–481. https://doi.org/10.5209/AGUC.79345

O'Connor, R. J., Spalding, A. K., Bowers, A. W., & Ardoin, N. M. (2024). Power and participation: A systematic review of marine protected area engagement through participatory science Methods. *Marine Policy*, (163), 106133. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106133

Ortega-Álvarez, R., Sánchez-González, L. A., Rodríguez-Contreras, V., Vargas-Canales, V. M., Puebla-Olivares, F., & Berlanga, H. (2012). Birding for and with people: Integrating local participation in avian monitoring programs within high biodiversity areas in southern

Mexico. *Sustainability*, (4), 1984–1998. https://doi.org/10.3390/su4091984

Ortega-Álvarez, R., Sánchez-González, L. A., Valera-Bermejo, A., & Berlanga-García, H. (2017). Community-based monitoring and protected areas: Towards an inclusive model. *Sustainable Development*, (25), 200–212. https://doi.org/10.1002/sd.1646

Puga, C. (2021). Gobernanza local, gobernanza nacional. *Espacios Transnacionales*, (17*)*, 112–124.https://orga.cephcis.unam.mx/wp-content/uploads/2024/02/Gobernanza-local_Gobernanza-nacional_Cristina-Puga.pdf

Perera-Valderrama, S., Hernández-Ávila, A., Ferro-Azcona, H., Cobián-Rojas, D., González-Méndez, J., Caballero-Aragón, H., Guardia-Llansó, E., Ramón-Puebla, A., Hernández-González, Z., Espinosa-Pantoja, L., & Lara, A. (2020). Increasing marine ecosystems conservation linking marine protected areas and integrated coastal management in southern Cuba. *Ocean and Coastal Management*, (196). https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105300.

Ramírez-García, A. G. (2022). *Evaluación de Diseño 2022 Programa para la Protección y Restauración de Ecosistemas y Especies Prioritarias*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/802151/MOCyR_Informe_Final_U040_16.pdf

Reimer, J. D., Peixoto, R. S., Davies, S. W., Traylor-Knowles, N., Short, M. L., Cabral-Tena, R. A., Burt, J. A., Pessoa, I., Banaszak, A. T., Winters, R. S., Moore, T., Schoepf, V., Kaullysing, D., Calderon-Aguilera, L. E., Wörheide, G., Harding, S., Munbodhe, V., Mayfield, A., Ainsworth, T., & Voolstra, C. R. (2024). The Fourth Global Coral Bleaching Event: Where do we go from here? *Coral Reefs*, (43*)*. https://doi.org/10.1007/s00338-024-02504-w

Rioja-Nieto, R., & Álvarez-Filip, L. (2019). Coral reef systems of the Mexican Caribbean: Status, recent trends and conservation. *Marine Pollution Bulletin*, (140), 616–625. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.07.005

Rodríguez-Martínez, R. E. (2008). Community involvement in marine protected areas: The case of Puerto Morelos reef, México. *Journal of Environmental Management*, (88), 1151–1160. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.06.008

Rodríguez-Martínez, R. E., Medina-Valmaseda, A. E., Blanchon, P., Monroy-Velázquez, L. V., Almazán-Becerril, A., Delgado-Pech, B., Vásquez-Yeomans, L., Francisco, V., & García-Rivas, M. C. (2019). Faunal mortality associated with massive beaching and decomposition of pelagic Sargassum. *Marine Pollution Bulletin*, (146), 201–205. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.015

Sahagún-Sánchez, F., Leija-Loredo, E. G., & Espinoza-Guzmán, M. A. (2026). El Valor De Los Servicios Ecosistémicos En Las Áreas Naturales Protegidas De México. *Cuadernos Geográficos*, (65), 198–218. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10630162

Searle, L., Chapman, J., Carne, L., & Arnold, S. (2014). *Belize Coral Bleaching Response and Management Plan 2008-2013: An Overview of the Response, Management Activities and Reccomendations.* ECOMAR.

Suchley, A., & Álvarez-Filip, L. (2018). Local human activities limit marine protection efficacy on Caribbean coral reefs. *Conservation Letters*, *11*(5), e12571. https://doi.org/10.1111/conl.12571

Torres, R., & Momsen, J. (2005). Planned tourism development in Quintana Roo, Mexico: Engine for regional development or prescription for inequitable growth? *Current Issues in Tourism, 8*(4), 259–285. https://doi.org/10.1080/13683500508668218

van-Tussenbroek, B. I., Hernández-Arana, H. A., Rodríguez-Martínez, R. E., Espinoza-Avalos, J., Canizales-Flores, H. M., González-Godoy, C. E., Barba-Santos, M. G., Vega-Zepeda, A., & Collado-Vides, L. (2017). Severe impacts of brown tides caused by Sargassum spp. on near-shore Caribbean seagrass communities. *Marine Pollution Bulletin*, (122), 272–281. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.057

Westermann, O., Ashby, J., & Pretty, J. (2005). Gender and social capital: The importance of gender differences for the maturity and effectiveness of natural resource management groups. *World Development*, (33), 1783–1799. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2005.04.018