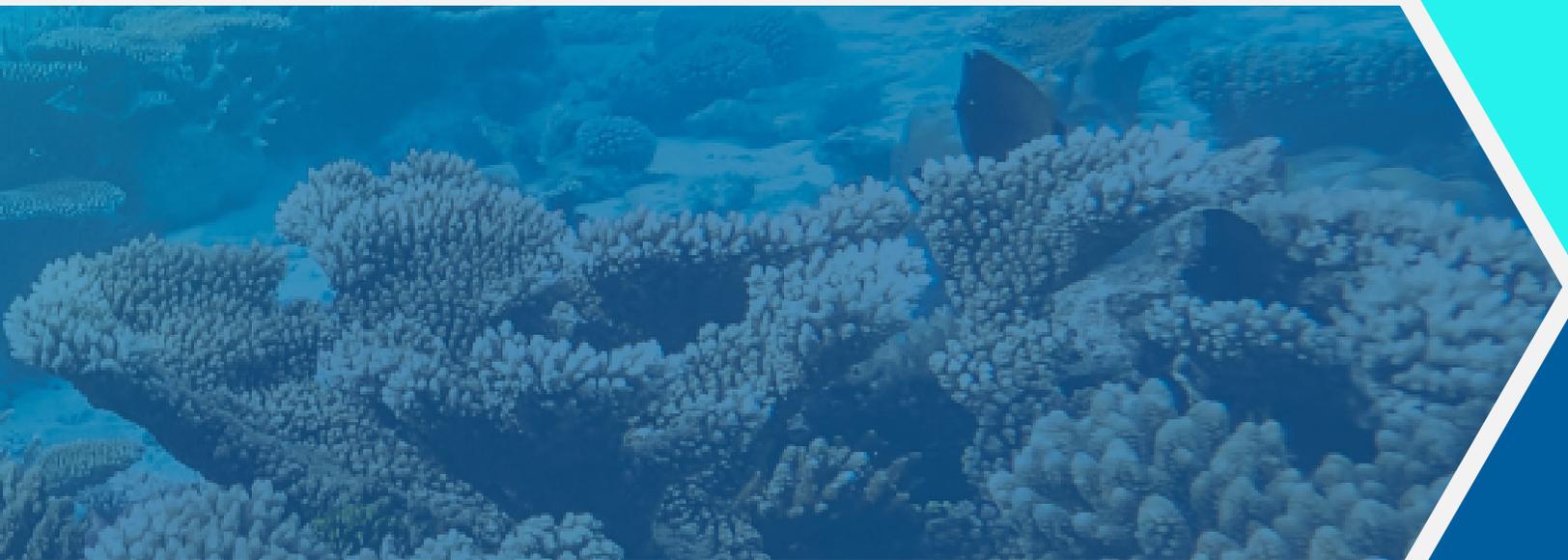


Protocolo para el
monitoreo ecosistémico de
arrecifes de coral
en Áreas Naturales Protegidas

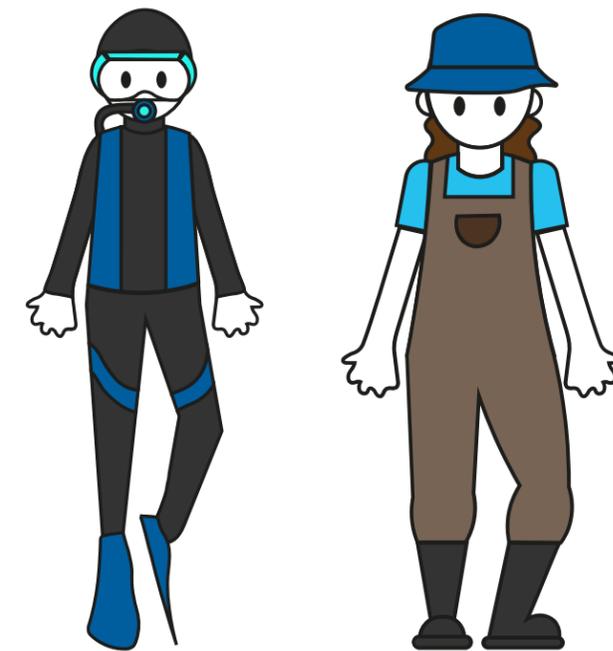


México, 2022

Francisco Javier Botello López
Catalina Vázquez Camacho
Fernando Mayani Parás
Marisol Eliut Vega Orihuela
Sharon Patricia Morales Díaz



Protocolo para el
monitoreo ecosistémico de
arrecifes de coral
en Áreas Naturales Protegidas



México, 2022

Primera edición digital: 17 de octubre del 2022

Revisión final: Claire Pérez Lemus y Fernando Mayani Parás

Fotografías: "Arrecifes de coral" [fotografía], por Wewe Yang, Pexels.com (<https://www.pexels.com/>)

Diseño e ilustraciones:

Claire Pérez Lemus
claire.pl1999@gmail.com

Mariana Inurrigarro Nevarez
madamedestler@gmail.com

Iraís Gayoso Gutiérrez
iraïsgayoso@gmail.com

Coordinación, edición técnica y científica:

Francisco Javier Botello López
Catalina Vázquez Camacho
Fernando Mayani Parás
Marisol Eliut Vega Orihuela
Sharon Patricia Morales Díaz

Forma de citar:

Botello, F., Vázquez-Camacho, C., Mayani-Parás, F., Vega-Orihuela, M. E., y Morales, S. (2022). *Protocolo para el monitoreo ecosistémico de arrecifes de coral en áreas naturales protegidas*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, Conservación Biológica y Desarrollo Social. A. C.

D. R. © 2022 CONSERVACIÓN BIOLÓGICA Y DESARROLLO SOCIAL, A. C.

Calle Nueve, No. 52, Int. 4, Colonia Espartaco, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México, 04870.
Correo electrónico: contacto@conbiodes.com
Sitio web: <https://www.conbiodes.com/>

ISBN: en trámite.

Prohibida la reproducción parcial o total por cualquier medio sin autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Impreso en México - Printed in Mexico

Prohibida su venta o actividad lucrativa con el material que en esta guía gratuita aparece, mediante cualquier medio impreso o electrónico

Protocolo para el
monitoreo ecosistémico de
arrecifes de coral
en Áreas Naturales Protegidas

México, 2022

Contenido

Introducción	9
Indicadores que requieren trabajo de campo	13
Indicador 1 	
*Parámetros fisicoquímicos del agua	15
Medición de la temperatura, oxígeno disuelto, pH y salinidad	17
Medición de transparencia del agua	18
Hoja de registro	104
Indicador 2 	
Nutrientes	21
Hoja de registro	104
Indicador 3 	
Tasa de sedimentación	25
Fase de campo	27
Fase de laboratorio	28
Nota	30
Hoja de registro	104
Indicador 4 	
*Biomasa de peces herbívoros y comerciales	31
Método de transecto	33
Método de censo por barrido	34
Hoja de registro	105
Indicador 5 	
Abundancia de macroinvertebrados marinos	37
Método de transecto	39
Hoja de registro	106

Indicador 6 		
Diversidad de megafauna	41	
Método de transectos de banda	43	
Hoja de registro	107	
Indicador 7 		
*Presencia de especies exóticas invasoras de alto impacto	47	
Hoja de registro	108	
Indicador 8 		
*Cobertura de especies de corales		
Indicador 9		
*Proporción de especies de coral constructoras/oportunistas	51	
Hoja de registro	109	
Indicador 10 		
*Incidencia de mortalidad en corales		
Indicador 11		
*Incidencia de enfermedades y blanqueamiento en corales	57	
Hoja de registro	110	
Indicador 12 		
*Densidad de reclutas de coral	65	
Hoja de registro	110	
Indicador 13 		
*Cobertura de macroalgas carnosas, algas filamentosas y algas costrosas		
Indicador 14		
Índice de macroalgas (IM)	69	
Hoja de registro	111	
Indicador 15 		
*Presencia de contaminantes, sobrepesca y extracción biológica	75	
Hoja de registro	112	
Indicador 16 		
Complejidad del relieve del fondo marino	79	
Método de la cadena	81	
Ecosonda	83	
Hoja de registro	113	
Indicador 17 		
Número de impactos generados en las áreas naturales protegidas por actividades turísticas	87	
Recorridos de vigilancia desde la playa	89	
En caso de registrar corales fracturados	90	
Hoja de registro	113	
Indicador 18 		
Magnitud del daño en arrecifes de coral por encallamientos de embarcaciones y uso de anclas	95	
Hoja de registro	113	
Recomendaciones	117	
Agradecimientos	119	

Introducción

El siguiente protocolo de arrecifes de coral es un producto del proyecto “Monitoreo ecosistémico para contribuir a la evaluación de la efectividad de manejo de las Áreas Naturales Protegidas (ANP)”. Está basado en un análisis exhaustivo de 822 documentos sobre los objetos de interés para el monitoreo y conservación de ANP, y de 400 documentos adicionales que describen programas y protocolos de monitoreo a nivel nacional e internacional. Se tomó como referencia el concepto de evaluación de la integridad ecológica, ya que permite medir el impacto de las acciones de conservación y conocer su efectividad sobre los procesos ecológicos que mantienen a la biodiversidad¹.

Es importante diferenciar entre el monitoreo de la integridad ecológica y el monitoreo biológico; este último se enfoca en un objeto de conservación seleccionado para un área en particular y los indicadores que se le atribuyen. En el caso de la integridad ecológica (se entiende como el mantenimiento de los componentes bióticos, abióticos y sus interacciones), su monitoreo está ligado al funcionamiento de los ecosistemas, que estos mantengan su salud y proporcionen servicios ecosistémicos². Su evaluación se compone de tres elementos fundamentales de los ecosistemas: composición, estructura y función³ y también se consideran las amenazas (fenómenos naturales) y presiones (perturbaciones humanas), ambas tienen influencia en el bienestar y funcionamiento de los ecosistemas; siendo elementos clave para la evaluación de la integridad ecológica⁴.

1 Herrera *et al.*, 2004

2 Komar *et al.*, 2014

3 Carrillo-García, 2018; Macías-Caballero *et al.*, 2014

4 Andrello *et al.*, 2021

Para poder evaluar el nivel de integridad ecológica, que a partir de este momento se mencionará como integridad ecosistémica, es necesario contar con indicadores que se incluyan en cada elemento fundamental (composición, estructura, función, presiones y amenazas). Estos indicadores fueron seleccionados a partir de análisis previos de integridad ecosistémica, posteriormente revisados, retroalimentados por los directores y las directoras, técnicos y técnicas de ANP. Además, con el objetivo de fortalecer estos indicadores se realizaron reuniones con expertas y expertos de cada ecosistema, para su validación y selección de indicadores prioritarios (identificados con un asterisco [*] en los protocolos), en función de su costo-efectividad en términos de recursos (humanos y/o económicos), la información clave que brindan sobre el estado de conservación del ecosistema y que retomen esfuerzos de monitoreo de indicadores que ya se realizan dentro de las áreas naturales protegidas.

Con el objetivo de que la evaluación de la integridad ecosistémica se lleve a cabo en los distintos ecosistemas de las ANP del país con un método estandarizado y que permita comparar el estado del ecosistema entre las diferentes áreas, se realizaron protocolos de fácil entendimiento a un nivel técnico medio, de tal manera que pueda ser utilizado por profesionales de distintas áreas (biología, ingenierías, entre otras), así como también, por guardaparques, técnicos y pobladores locales que contribuyen a las tareas de monitoreo de las ANP.

Para facilitar la lectura, el entendimiento del protocolo y guiar la experiencia del lector, la estructura del protocolo está compuesta por distintos elementos clave como lo son:

- El índice que enlista los indicadores generales y prioritarios con su ícono y color representativo.
- La introducción que narra el desarrollo de los protocolos y sus objetivos.
- Una tabla resumen que contiene los indicadores a monitorear, el componente de integridad ecosistémica al que está relacionado, si corresponde o no a un indicador prioritario (*), el tipo de muestreo recomendado, el equipo necesario y la frecuencia de monitoreo.
- Por cada indicador se presenta una descripción del método recomendado a utilizar para su monitoreo, así como la información necesaria a registrar en campo para su posterior análisis.
- La literatura consultada para el desarrollo de cada indicador para su consulta.
- Una sección de recomendaciones generales.
- Agradecimientos.
- Un anexo compuesto por los formatos de registro sugeridos.

Para la evaluación de la integridad ecológica del ecosistema de **arrecifes de coral**, se presentan 18 indicadores a medir: cinco indicadores para composición, tres indicadores para estructura, siete indicadores para función y tres indicadores de perturbaciones y amenazas. De estos 18 indicadores, con un asterisco (*) se indican diez que se consideran prioritarios.

Debido a que la mayoría de los arrecifes del Atlántico Occidental tropical son de menor extensión, y para disminuir las superficies con hábitats que no son arrecifales como arena o pasto marino, las distancias de los levantamientos en línea serán de 10 m para los protocolos de indicadores bénticos y coralinos; y de 30 metros para el protocolo de peces.

Aunque la recomendación es seguir las especificaciones de la metodología que se brinda en esta propuesta de protocolo para poder cumplir el objetivo de la estandarización al hacer comparables los resultados entre las diferentes áreas, cada ANP es libre de adaptarlos a las necesidades de su ecosistema.

Este protocolo de monitoreo ecosistémico está diseñado a un nivel técnico medio, de tal manera que pueda ser utilizado por distintos tipos de profesionales que laboran en las ANP (biólogos, oceanólogos, ingenieros ambientales, etc.), así como también por guardaparques, técnicos e incluso pobladores locales que contribuyen a las tareas de monitoreo de las áreas naturales protegidas.

En la metodología de cada indicador se incluyen los datos que se deberán ingresar, los formatos de registro para cada indicador se encuentran al final del documento. Asimismo, en todos los indicadores se debe obtener la información:

- Nombre del monitor que toma los datos.
- Estado del tiempo.
- Fecha de la toma de datos.
- Hora de la toma de datos.

• • • • •
 • Nota importante: para todos los casos que sea necesario
 • realizar colectas de organismos se deberá contar con los
 • permisos de colecta correspondientes.
 • • • • •

Basado en:

- Andrello, M., Darling, E. S., Wenger, A., Suárez-Castro, A. F., Gelfand, S. y Ahmadi, G. N. (2022). A global map of human pressures on tropical coral reefs. *Conservation Letters*, 15(1), e12858.
- Carrillo-García, D. (2018). *Indicadores para monitorear la integridad ecológica de los arrecifes de coral: el caso del caribe mexicano* [tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)]. Repositorio institucional <https://repositorio.unam.mx/contenidos/326059>
- Herrera, B. y Corrales, L. (2004). *Manual para la evaluación y monitoreo de la integridad ecológica en áreas protegidas*. Programa Ambiental Regional para Centroamérica (PROARCA).
- Komar, O., Schlein, O. y Lara, K. (2014). *Guía para el monitoreo de integridad ecológica en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas y Vida Silvestre de Honduras*. ICF, SINFOR, Escuela Agrícola Panamericana (EAP/Universidad Zamorano) y Proyecto USAID ProParque.
- Macías Caballero, C., Contreras Martínez, S., Martínez Ovando, E., Alba López, M. P., Cárdenas Hernández, O. G., Alcántara Concepción, P. C., García Contreras, G., González Ceballos, J., Monroy Gamboa, A. G., Cruz Maldonado, N. N., Salazar Dreja, A., Torres González, L. F., Cervantes Escobar, A. y Cruz Nieto, M. A. (2014). *Diseño de protocolos de monitoreo para estimar la integridad ecológica en selvas y bosques de sitios prioritarios de la Alianza México REDD+*. The Nature Conservancy.
- Parrish, J. D., Braun, D. P., y Unnasch, R. S. (2003). Are we conserving what we say we are? Measuring ecological integrity within protected areas. *BioScience*, 53(9), 851-860.

Indicadores que requieren trabajo de campo				
Elementos de integridad ecosistémica	Indicador	Tipo de muestreo	Equipo necesario	Frecuencia de monitoreo
Función	1. *Parámetros fisicoquímicos del agua	Muestreo y observacional	GPS, formatos de registro impresos, sonda multiparamétrica o sensor permanente de temperatura, sensor permanente de pH, sensor permanente de salinidad, sensor permanente de concentración de oxígeno disuelto y disco de Secchi	Mensualmente, o de ser posible de manera semanal
	2. Nutrientes	Muestreo	GPS, formatos de registro impresos, botella de Niskin, filtros gf/f y viales plásticos Falcón	Una vez al año
	3. Tasa de sedimentación	Muestreo fijo	GPS, formatos de registro impresos, trampa de sedimento (tres tubos de pvc de 5 cm de diámetro y 30 cm de largo, con una tapa de plástico), estaca de plástico o metal de 1.5 m de largo y cinchos de plástico o metal	Bimestral
	4. *Biomasa de peces herbívoros y comerciales	Transecto en banda o buceo errante o censos de barrido	GPS, formatos de registro impresos, cinta métrica. Material deseable pero no necesario: cámara de video sumergible, barra T de 2 m de ancho, guías de campo para la identificación de especies, tabla de acrílico, hojas sumergibles, visor, aletas y snorkel y/o equipo de buceo SCUBA	Una vez por temporada (cuatro veces al año)
Composición	5. Abundancia de macroinvertebrados	Transecto en banda	GPS, formatos de registro impresos, cinta métrica, guías de campo para la identificación de especies, tabla de acrílico, hojas sumergibles, visor, aletas y snorkel o equipo de buceo SCUBA	Dos veces al año (diferentes temporadas)
	6. Diversidad de megafauna	Transecto en banda y censos de barrido		
	7. *Presencia de especies exóticas-invasoras de alto impacto	Transecto en banda o buceo errante o censos de barrido		
	8. *Cobertura de especies de corales	Transecto de intercepto de puntos		
Estructura	9. *Proporción de especies de coral constructoras/opportunista	Transecto de intercepto de puntos	GPS, formatos de registro impresos, cinta métrica, guías de campo para la identificación de especies, tabla de acrílico, hojas sumergibles, visor, aletas y snorkel o equipo de buceo SCUBA	Dos veces al año (diferentes temporadas)

Elementos de integridad ecosistémica	Indicador	Tipo de muestreo	Equipo necesario	Frecuencia de monitoreo
Función	10. *Incidencia de mortalidad en corales	Transecto de intercepto de puntos	GPS, formatos de registro impresos, cinta métrica, guías de campo para la identificación de especies, tabla de acrílico, hojas sumergibles, visor, aletas y snorkel o equipo de buceo SCUBA	Dos veces al año (diferentes temporadas)
	11. *Incidencia de enfermedades y blanqueamiento en corales			
	12. *Densidad de reclutas de coral	Cuadrantes	GPS, formatos de registro impresos, cinta métrica, y cuatro tubos PVC de 25 cm, tabla de acrílico, hojas sumergibles, visor, aletas y snorkel o equipo de buceo SCUBA	
13. *Cobertura de macroalgas carnosas, algas filamentosas y algas costrosas				
Estructura	14. Índice de macroalgas (IM)			
	15. *Presencia de contaminantes, sobrepesca y extracción biológica	Transecto de intercepción de puntos y cuadrantes		
Perturbaciones y amenazas				
Estructura	16. Complejidad topográfica del relieve del fondo marino	De la cadena o ecosonda		GPS, formatos de registro impresos y cadena de 3 m de largo o ecosonda, tabla de acrílico, hojas sumergibles, visor, aletas y snorkel o equipo de buceo SCUBA
Perturbaciones y amenazas	17. Número de impactos generados en las áreas naturales protegidas por actividades turísticas	Registro de indicios y eventos en recorridos	GPS, formatos de registro impresos, bitácora, cinta métrica, tabla de acrílico, hojas sumergibles, visor, aletas y snorkel o equipo de buceo SCUBA	Recorridos de vigilancia desde la playa: Semanal o quincenal. Transectos: Dos veces al año (diferentes temporadas), simultáneo al monitoreo del arrecife.
	18. Magnitud del daño en arrecifes de coral por encallamientos de embarcaciones y uso de anclas	Cuadrante	GPS, formatos de registro impresos, bitácora, cinta métrica, cuatro tubos PVC de 1 m e hilo de nailon, tabla de acrílico, hojas sumergibles, visor, aletas y snorkel o equipo de buceo SCUBA	Cada vez que se presente un reporte de evento de varamiento de embarcaciones o de anclas en los arrecifes

Tabla 1. Indicadores que requieren trabajo de campo.

Nota importante: debido a que el objetivo de este protocolo es realizar un muestreo estandarizado, es de vital importancia que el esfuerzo de muestreo se mantenga para el caso particular de cada indicador.

Los indicadores de presencia de especies exóticas-invasoras de alto impacto y presencia de contaminantes, sobrepesca y extracción biológica se monitorearán simultáneamente, es decir, al estar efectuando el monitoreo de otros indicadores podrá detectar al mismo tiempo especies exóticas-invasoras, contaminantes y sobrepesca.

Indicador 1

*Parámetros fisicoquímicos del agua

Los parámetros fisicoquímicos que se miden son: la temperatura, oxígeno disuelto, pH, salinidad y coeficiente de atenuación de luz. Sólo el último parámetro se mide con un disco de Secchi, el resto de los parámetros se miden mediante una sonda multiparamétrica o sondas específicas para cada parámetro.

Nota: es importante mencionar que antes de realizar las lecturas de los parámetros, la sonda o los sensores utilizados deberán ser calibrados para obtener lecturas reales. Asimismo, la lectura de los parámetros deberá realizarse siempre a la misma hora del día.

Medición de la temperatura, oxígeno disuelto, pH y salinidad

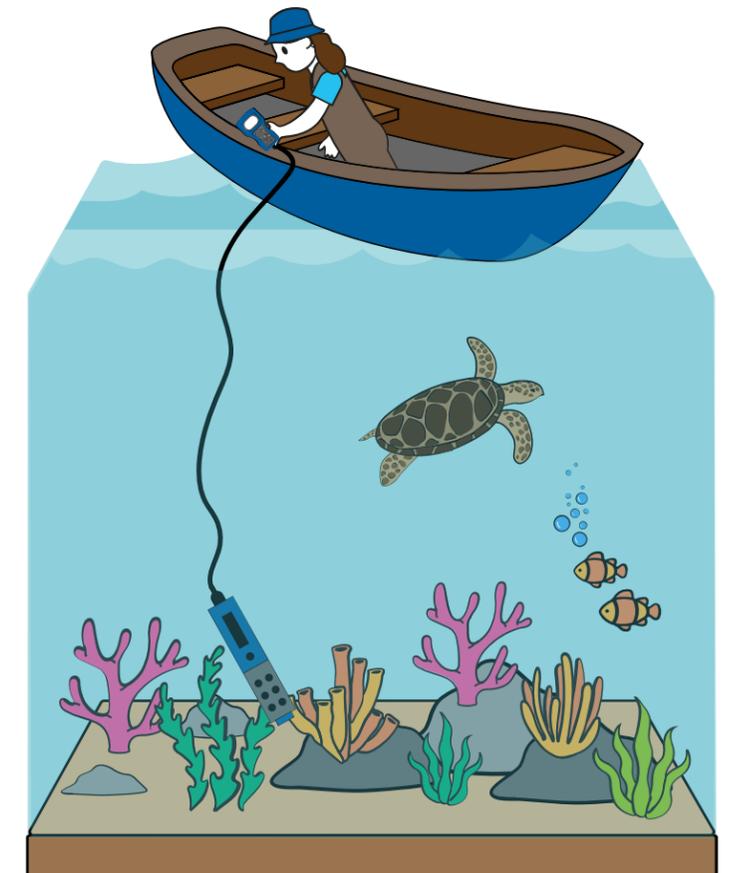
1 Sumerja una sonda multiparamétrica en el punto de muestreo y obtenga:

- Temperatura
- Oxígeno disuelto
- pH
- Salinidad

2 Registre datos.

Datos a registrar:

- Coordenadas de los puntos de toma de parámetros
- Valores de parámetros (temperatura (°C), oxígeno disuelto (PPM), pH y salinidad (UPS))
- Observaciones generales relacionadas con los cuerpos de agua (presencia de basura, residuos líquidos, infraestructura hidráulica, actividades humanas, presencia de especies exóticas-invasoras, entre otros)



Medición de transparencia del agua (coeficiente de atenuación de la luz)

La transparencia del agua se medirá con un sensor de turbidez. En caso de no contar con este, y si el sitio de muestreo lo permite, se hará uso del disco de Secchi:

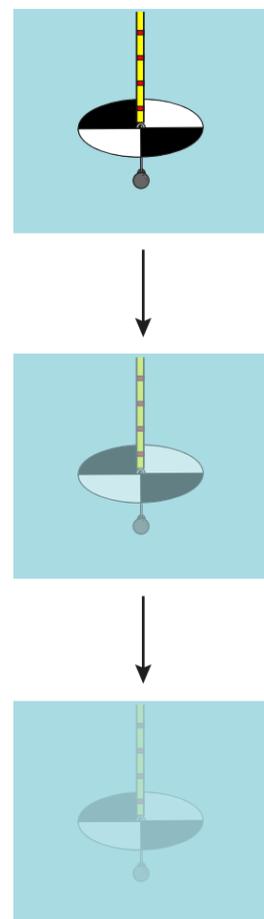
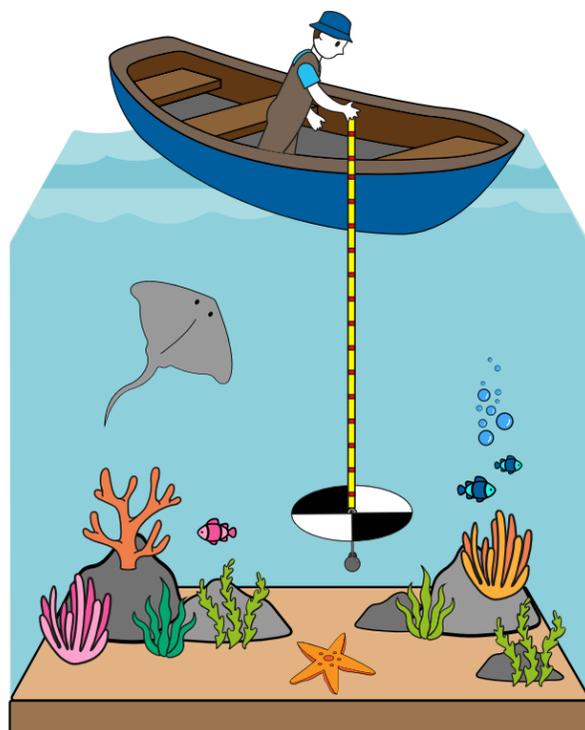
1 Utilice un disco de Secchi que estará unido a una cuerda metrada.

2 Desde la embarcación deje bajar lentamente el disco de Secchi a 90° hasta que este ya no sea perceptible.

3 Registre datos.

Datos a registrar:

- Coordenadas de los puntos de toma de parámetros
- Profundidad del disco (m)
- Observaciones



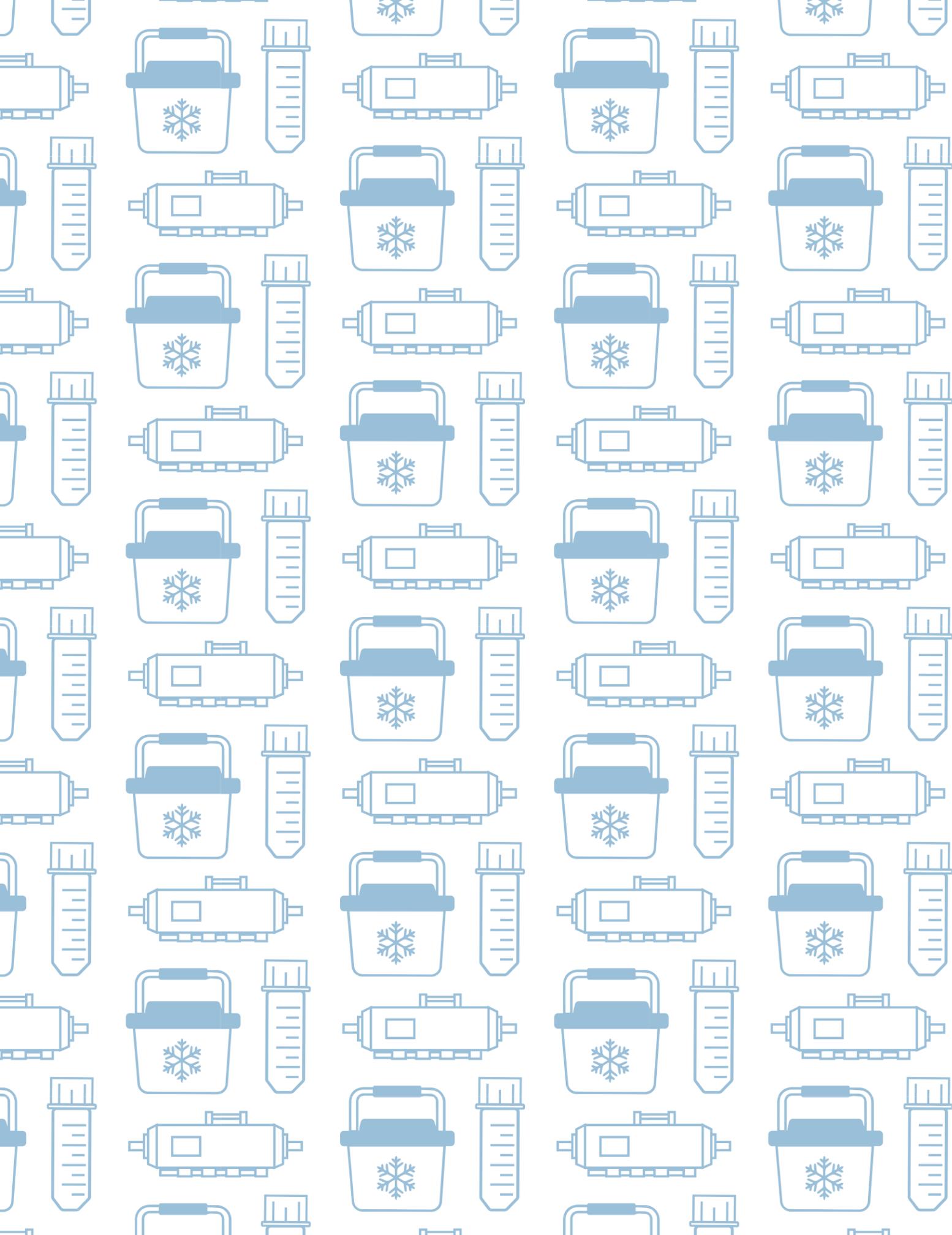
Basado en:

- Bates, R. G., Roy, R. N. y Robinson, R. A. (1973). Buffer standards of tris (hydroxymethyl) methylglycine (Tricine) for the physiological range pH 7.2 to 8.5. *Analytical chemistry*, 45(9), 1663- 1666.
- Congdon, V. M., Dunton, K. H., Brenner, J., Goodin, K. L. y Ames, K. W. (2018). Ecological resilience indicators for seagrass ecosystems. En K. L. Goodin et al., *Ecological Resilience Indicators for Five Northern Gulf of Mexico Ecosystems*. Nature Serve.
- Espinoza-Tenorio, A., Vásquez-González, C., Zepeda-Domínguez, J. A., Reyna-Fabián, M., Cervantes, O., Vidal- Hernández, L., Esqueda-Lara., Espejel, I. y Carmona-Escalante, A. (2020). Los umbrales en los socioecosistemas costeros. En V. S. Ávila-Foucat y I. Espejel (Eds.) *Resiliencia de socioecosistemas costeros* (81-118). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Fragoso, G. (2000). *Manejo de arrecifes de coral blanqueados o severamente dañados*. IUCN.
- Millero, F. J., Feistel, R., Wright, D. G. y Mc Dougall, T. J. (2008). The composition of Standard Seawater and the definition of the Reference-Composition Salinity Scale. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 55(1), 50-72.
- Vaquer-Sunyer, R. y Duarte, C. M. (2008). Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 15 452- 15 457.

An underwater photograph of a coral reef. The water is clear and blue. In the foreground, there are large, branching coral structures. Several small, dark-colored fish are swimming around the coral. The background shows more coral and a few more fish, extending into the distance.

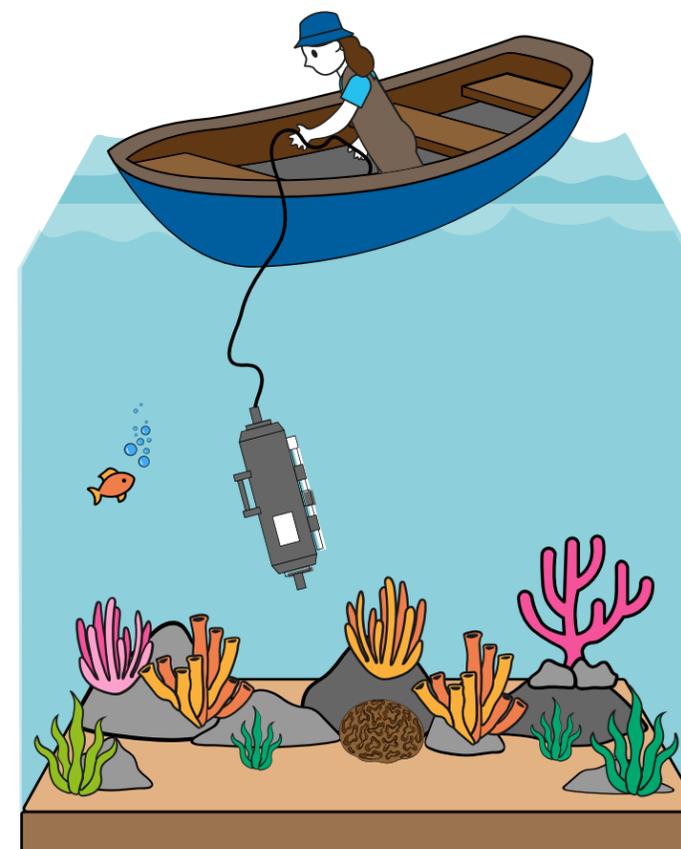
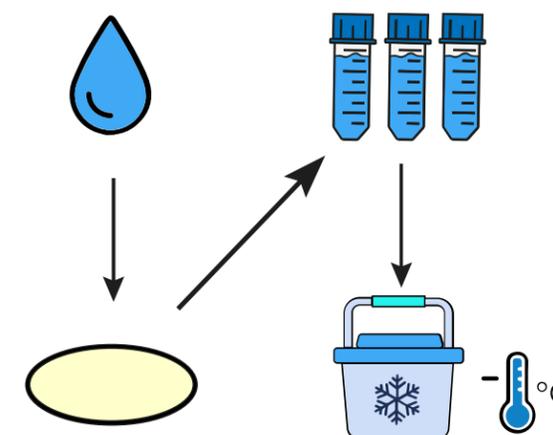
Indicador 2

Nutrientes



Para llevar a cabo el análisis de nutrientes y para obtener los valores de concentración de sólidos totales suspendidos, amonio, nitritos, nitratos y fosfatos, será necesario apoyarse de un laboratorio que cuente con el equipo y la experiencia requerida, por lo que se recomienda la identificación previa del laboratorio local o foráneo en el que se realizará el procesamiento de las muestras.

- 1 Con ayuda de una botella Niskin colecte del fondo una muestra de 1 L de agua en el punto de muestreo.
- 2 Filtre las muestras con filtros *gff* y almacene el agua filtrada de cada muestra en tres viales plásticos Falcón, que serán congelados para enviarse al laboratorio.
- 3 Registre datos.



Datos a registrar:

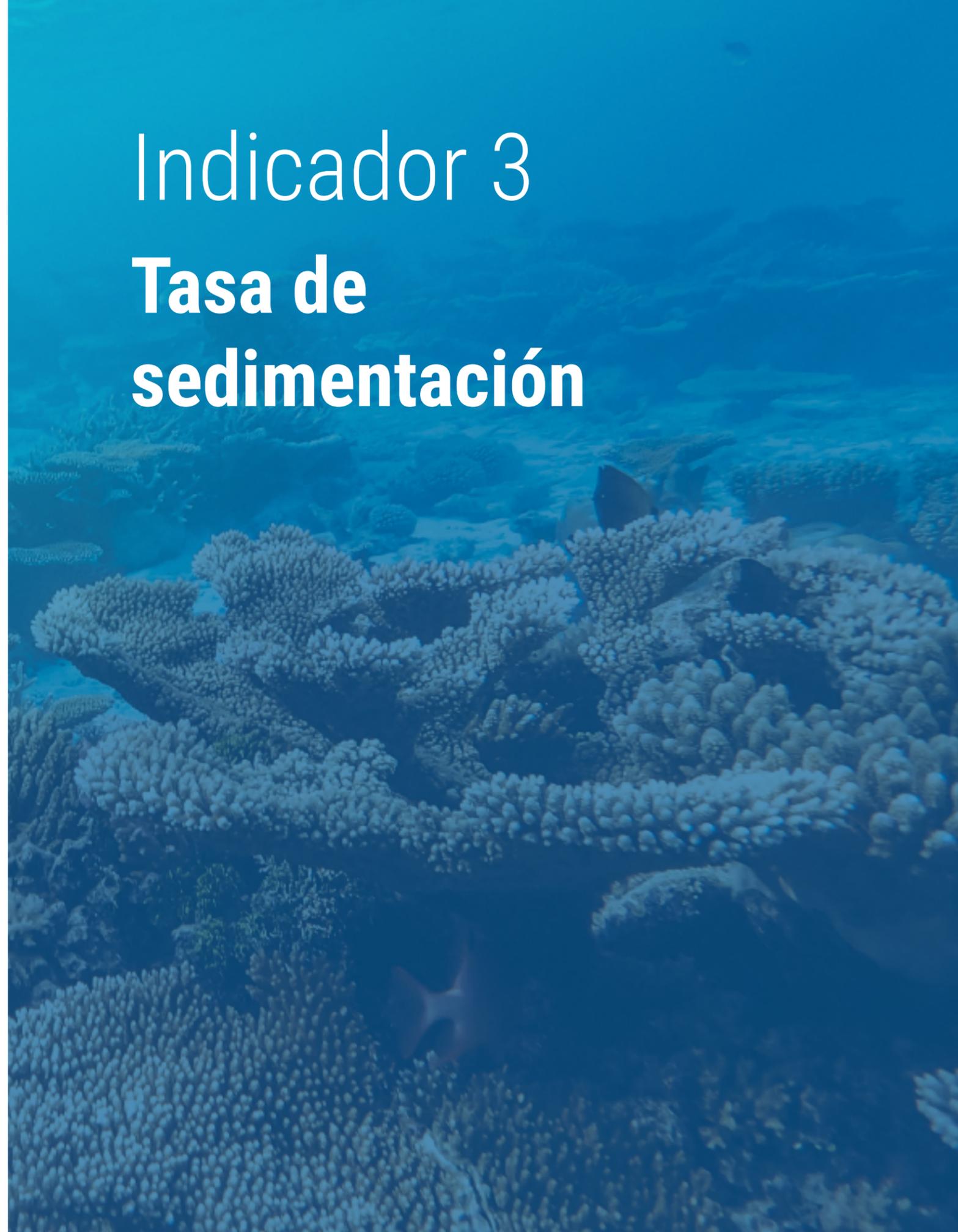
- Coordenadas de los puntos de colecta de muestra de agua
- Valores de concentración de sólidos totales suspendidos, amonio, nitritos, nitratos y fosfatos
- Observaciones

Basado en:

- Almada-Villela, P.C., Sale, P.F., Gold' Bouchot, G. y Kjerfve, B. (2003). *Manual de Métodos para el Programa de Monitoreo Sinóptico del SAM*. Métodos seleccionados para el Monitoreo de Parámetros Físicos y Biológicos para utilizarse en la Región Mesoamericana. https://www.camafu.org.mx/wp-content/uploads/2017/12/manual-de-metodos-para-el-programa-de-monitoreo-sinoptico-del-sam.html_file1_files2Fimagenes_M12Fdesarrollo20institucional-2FEvaluacion20de20Impacto2FPMSMan03.pdf
- Lapointe, B. E., y Clark, M. W. (1992). Nutrient inputs from the watershed and coastal eutrophication in the Florida Keys. *Estuaries*, 15(4), 465-476.
- Vivas-Aguas, L. J y Navarrete-Ramírez, S. M. (2014). *Protocolo Indicador Calidad de Agua (ICAMPFF)*. Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas. Invemar, GEF Y PNUD.

Indicador 3

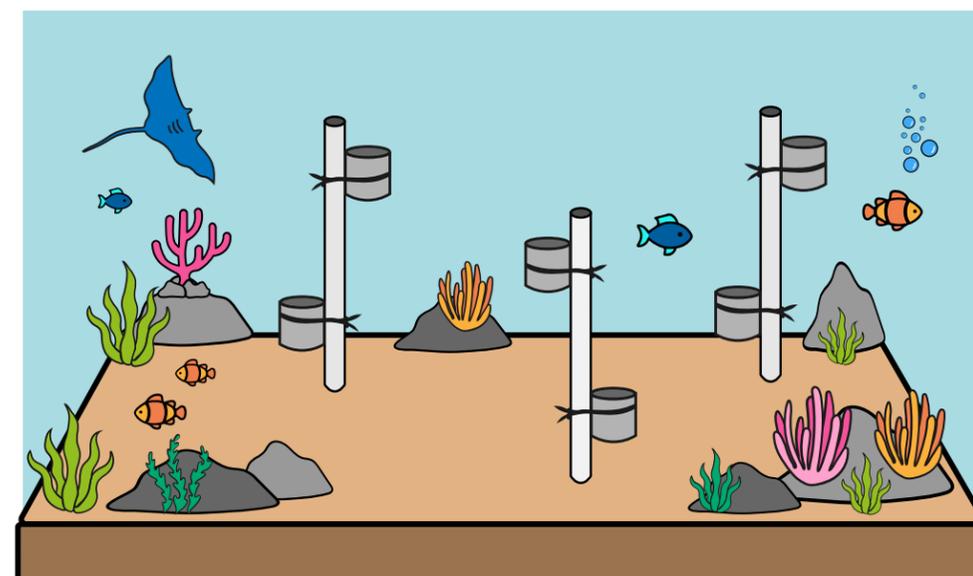
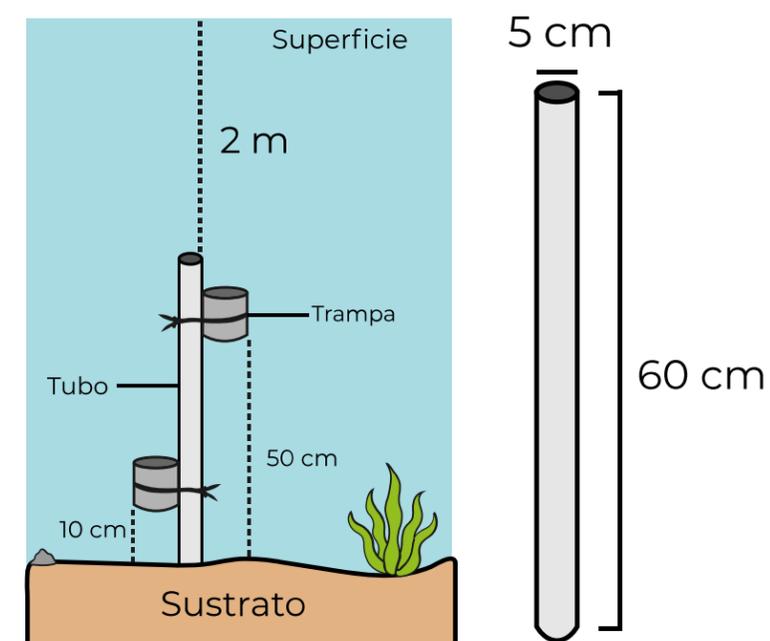
Tasa de sedimentación



La medición de la tasa de sedimentación consta de dos fases, una en campo y otra en el laboratorio, como se explica a continuación.

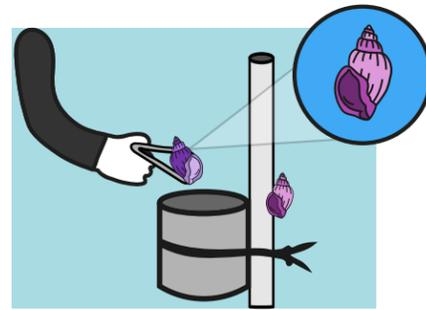
Fase de campo

- 1** La tasa de sedimentación se mide mediante trampas de sedimento permanentes, las cuales consisten en 3 tubos de PVC de aproximadamente 5 cm de diámetro interno y 60 cm de largo.
- 2** Fije los tubos al sustrato, mínimo a 2 m bajo la superficie del agua, y amarre las trampas a los tubos a 50 cm y a 10 cm del sustrato.
- 3** Deje las trampas destapadas y de manera bimestral tápelas bajo el agua para llevar al laboratorio.



4 Remueva con pinzas los organismos pequeños que se encuentren en ellos.

5 Registre datos.

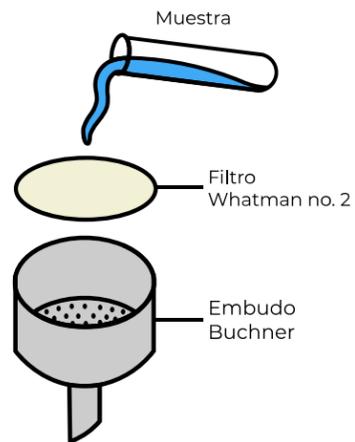


Basado en:

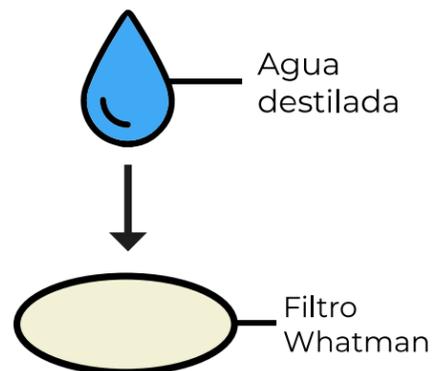
- Fabricius, K. E., De'ath, G., McCook, L., Turak, E. y Williams, D. M. (2004). Changes in algal, coral and fish assemblages along water quality gradients on the inshore Great Barrier Reef. *Marine pollution bulletin*, 51(1-4), 384-398.
- Granja Fernández, M. R. y López Pérez, R. A. (2008). Sedimentación en comunidades arrecifales de Bahías de Huatulco, Oaxaca, México. *Revista de Biología Tropical*, 56(3), 1179-1187.
- Pinilla, G., Gutiérrez, A. y Ulloa, G. (2007). *Efectos ecológicos de la derivación de aguas y sedimentos hacia la bahía de Barbacoas*. Facultad de Ingeniería <https://fondodeaguacartagena.org/2017/11/01/efectos-ecologicos-de-la-derivacion-de-aguas-y-sedimentos-hacia-la-bahia-de-barbacoas/>
- Romero-Hernández, Y. (2018). Efecto de la sedimentación en el desarrollo de los arrecifes coralinos. *RIADS: Revistas De Investigación Agropecuaria Y Desarrollo Sostenible*, 3(2), 42-49. <http://revistas.sena.edu.co/index.php/riads/article/view/1992/2222>

Fase de laboratorio

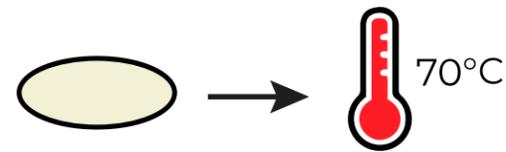
1 Filtre las muestras en filtros Whatman número 2, vertiendo el contenido del envase usando un embudo Buchner.



2 Enjuague los filtros varias veces con agua destilada para remover residuos y las sales del sedimento.



3 Seque los filtros con sedimento en un horno, previamente calentado a una temperatura de 70 °C, hasta obtener un peso constante.



4 Registre datos.

Datos a registrar:

- Coordenadas de zona de monitoreo
- Fecha de colocación
- Fecha de retiro
- Valor de la tasa de sedimentación por sitio
- Observaciones

Nota

Los indicadores 4, 5, 6 y 7 comparten el método de transectos, por lo que se pueden medir de forma simultánea. Sin embargo, se pueden omitir aquellos indicadores que no se consideren necesarios u optar por el otro método propuesto de acuerdo con las capacidades de cada área natural protegida.

Indicador 4: *biomasa de peces herbívoros y comerciales.

Indicador 6: diversidad de megafauna.

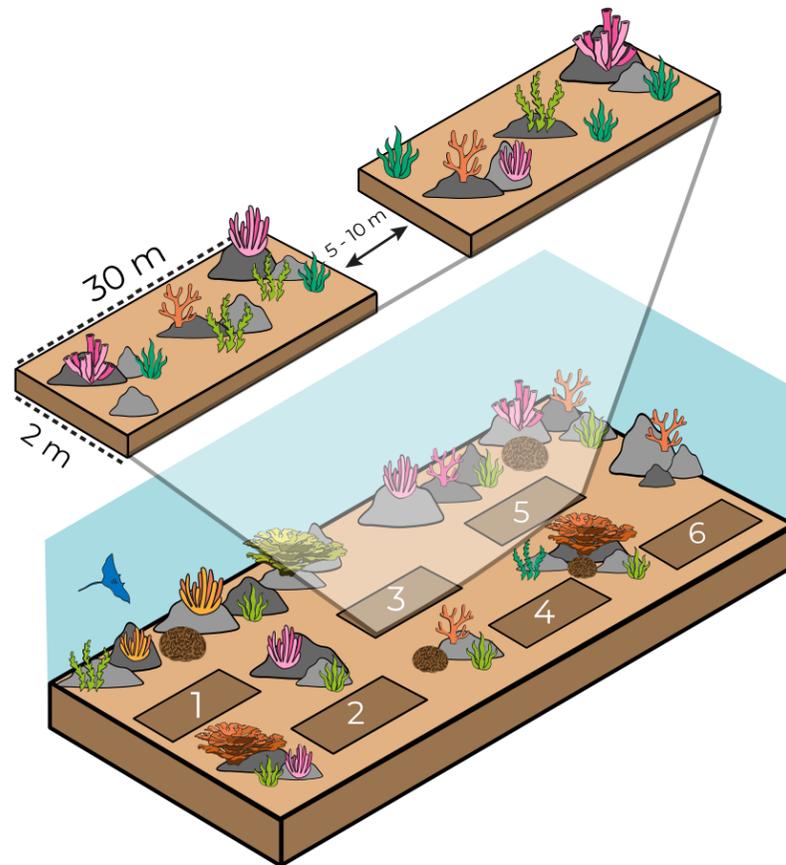
Indicador 5: abundancia de macroinvertebrados marinos.

Indicador 7: *presencia de especies exóticas invasoras de alto impacto.

Diseño de transectos

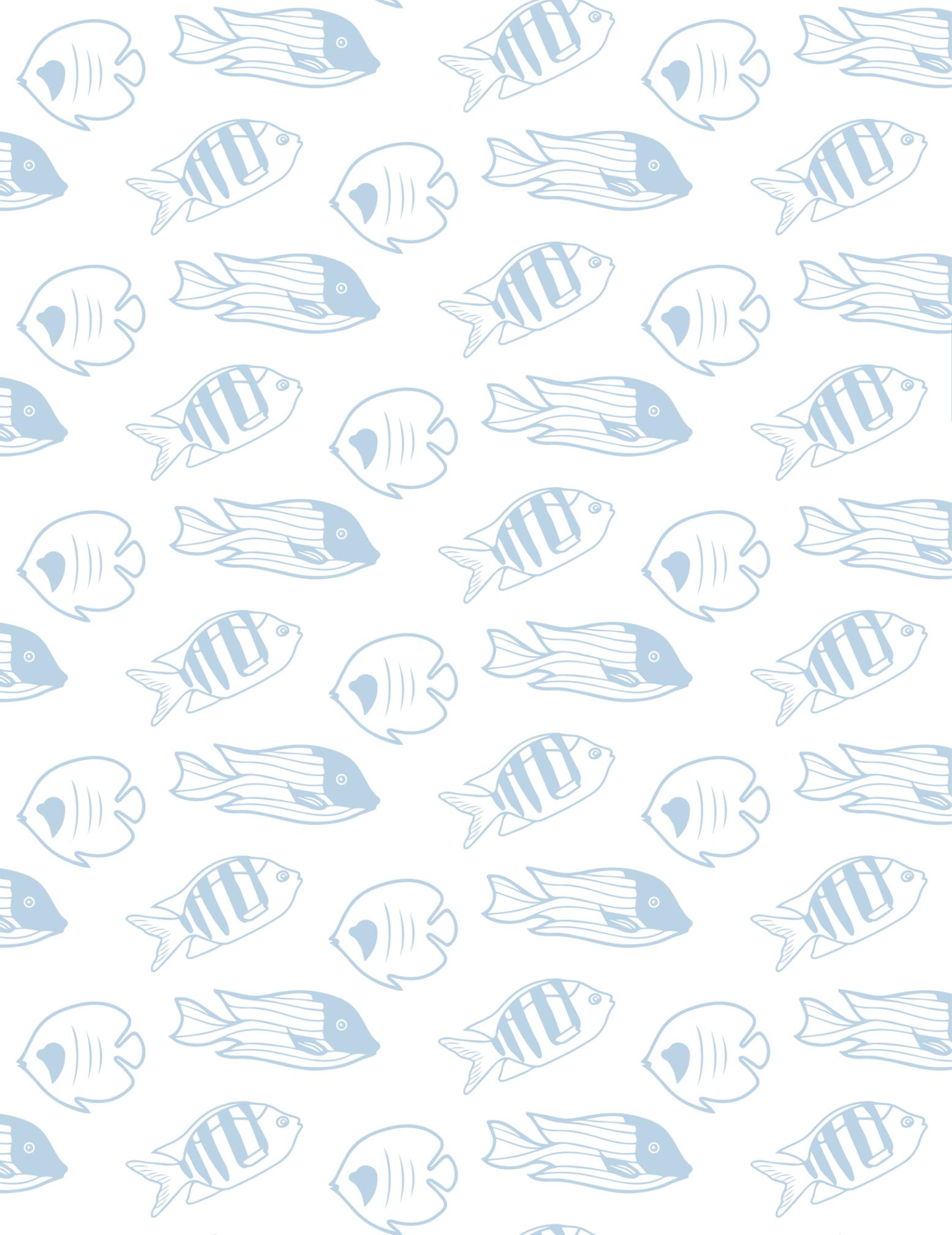
En la superficie del arrecife establezca al azar entre seis y ocho transectos de 30 m de largo por 2 m de ancho, separados por una distancia de 5 a 10 m entre sí.

Nota: el número de transectos dependerá de la extensión y tipo de arrecife de coral, así como la profundidad del sitio y el número de personas que lo realicen.



Indicador 4

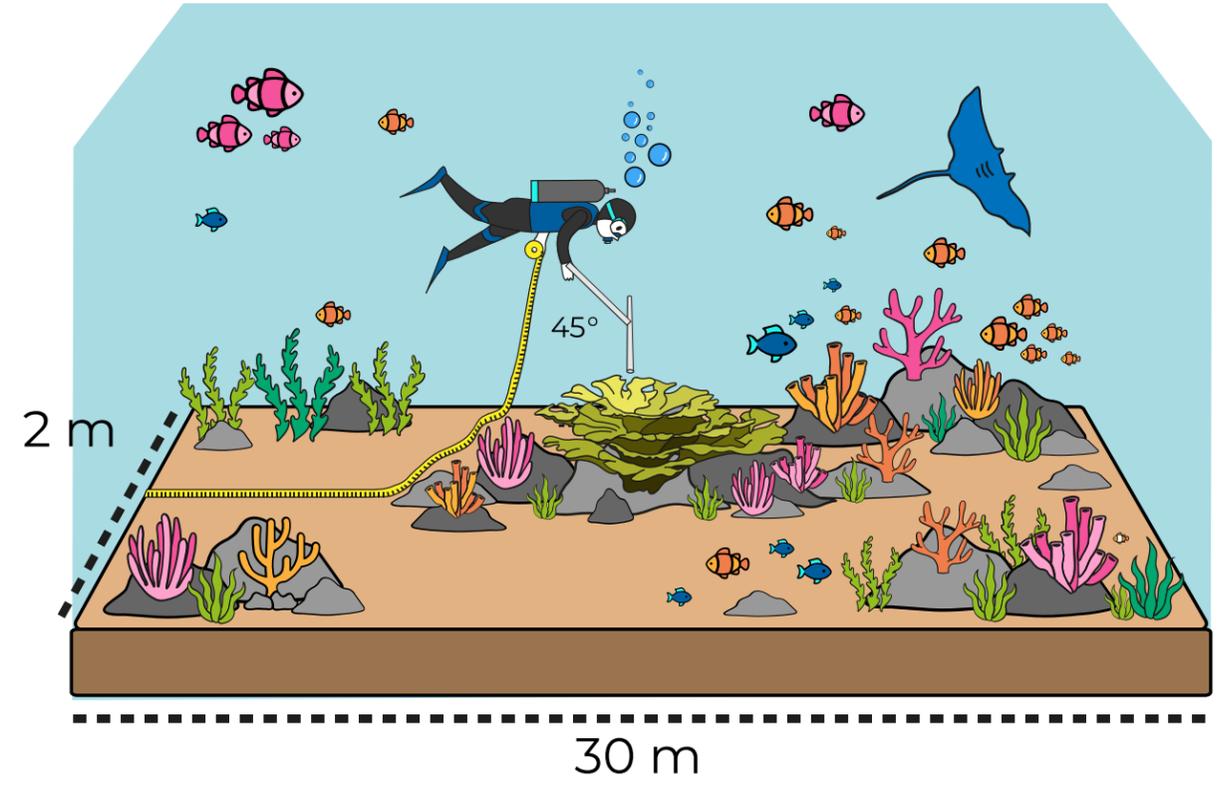
*Biomasa de peces herbívoros y comerciales



Nota: Se debe evitar duplicar conteos de los individuos que no estén fijos al arrecife, como son los peces. Se reitera la recomendación del uso de tablas con especies para facilitar su identificación. Asimismo, se recuerda que se deben considerar las fases juveniles y adulto de varias especies de peces, ya que muy frecuentemente son muy diferentes. Muchas especies se suelen mover en cardúmenes, cuando este sea el caso, se deberá hacer una aproximación del número de individuos que pertenezcan a cada categoría. Solo se contarán los individuos que se encuentren dentro del transecto de 2 m. Por último, se debe tener extrema precaución al momento de soltar la cinta y retirarla, se recomienda marcar con boyas el inicio y fin de cada transecto (además de apoyarse con las coordenadas) para darle continuidad a cada sitio en el tiempo y espacio.

Método de transecto (diseño en la página 30)

- 1 Indique el inicio del transecto y nade en línea recta soltando la cinta conforme avanza.
- 2 Cuente y registre todos los peces encontrados a lo largo del transecto.
- 3 Registre datos.



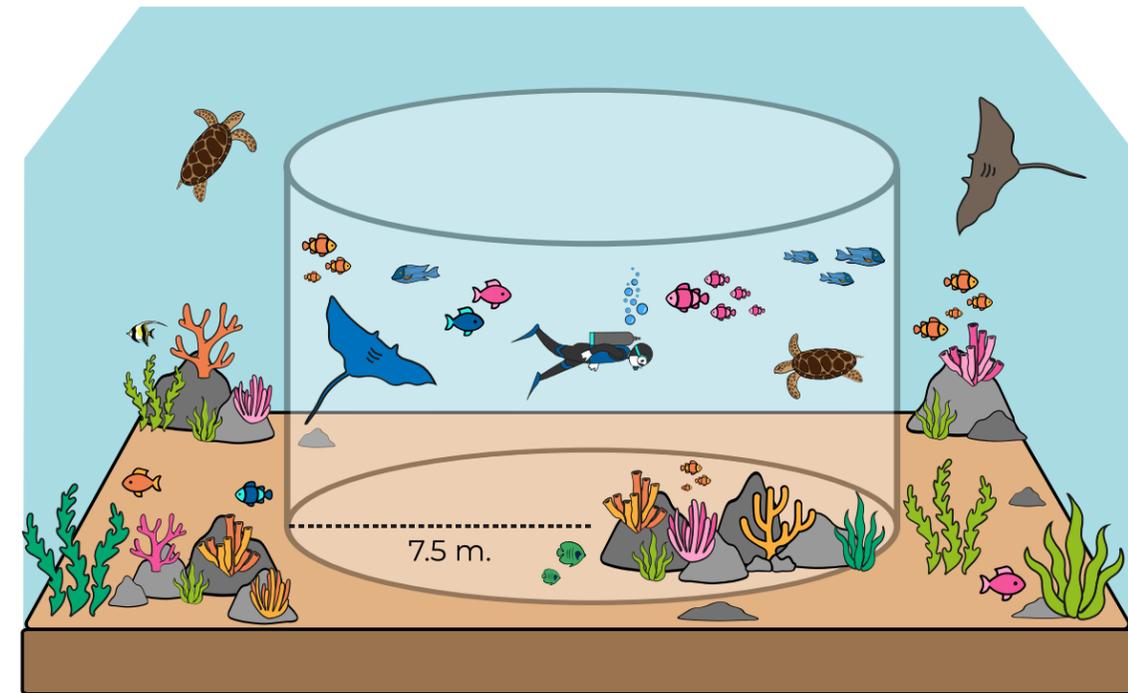
Para asegurar el monitoreo preciso con un ancho de transecto de 2 m, utilice una barra T de 1 m de ancho a cada lado (marcada cada 10 cm de cada lado), la cual deberá sostener delante de usted orientada hacia abajo a un ángulo de 45°. Trate de nadar a lo largo del contorno del terreno para evitar cambios en la profundidad y evitar nadar encima de corales y surcos o canales.

A través de las marcas cada 10 cm de la barra T, estime la talla de los peces usando los siguientes intervalos:

- 0-5 cm • 20 a 30 cm
- 5 a 10 cm • 30 a 40 cm
- 10 a 20 cm • > 40 cm

Datos a registrar:

- Coordenadas del sitio
- Número de transecto
- Número de individuos por especie de pez presente
- Indicar si es una especie exótica, comercial y herbívora
- Talla de cada individuo



15 min.
Registro de organismos.

10 min.
Conteo de especies fáciles de detectar.

5 min.
Conteo de especies asociadas al fondo.

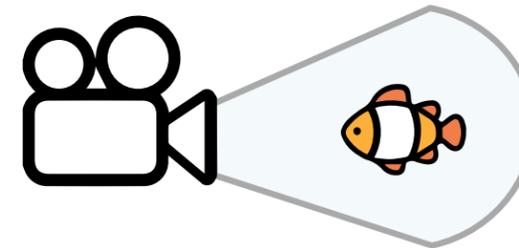
Método de censo por barrido

1 A través de un cilindro imaginario de 7.5 m (aproximadamente 170 m² de muestreo), registre todos los organismos en un periodo de 15 minutos, dedicando 10 minutos a contar especies conspicuas que son fáciles de detectar y 5 minutos para contar especies asociadas al fondo, como blénidos, damiselas, halcones de coral y peces ardilla.

2 Aplique todos los conocimientos que tenga de los hábitos y comportamiento de los peces, investigue cuevas, salientes, y demás formaciones. Ubique el sitio con el mayor número de especies durante la búsqueda.

Aunque se espere que existan especies adicionales no extienda la búsqueda y permanezca en el área seleccionada mientras realiza el análisis. Asimismo, registre si observa alguna especie exótica-invasora.

3 En todos los métodos, debido a la perturbación sobre las especies que se puede generar al nadar, se recomienda que se utilice una cámara de video para que queden registradas todas las especies presentes.



5 Registre datos.

Datos a registrar:

- Coordenadas del sitio
- Número de individuos por especie
- Indicar si es una especie exótica, comercial y herbívora
- Talla de cada individuo

Pequeños: < 20 cm



Medianos: 20 - 40 cm



Grandes: > 40 cm

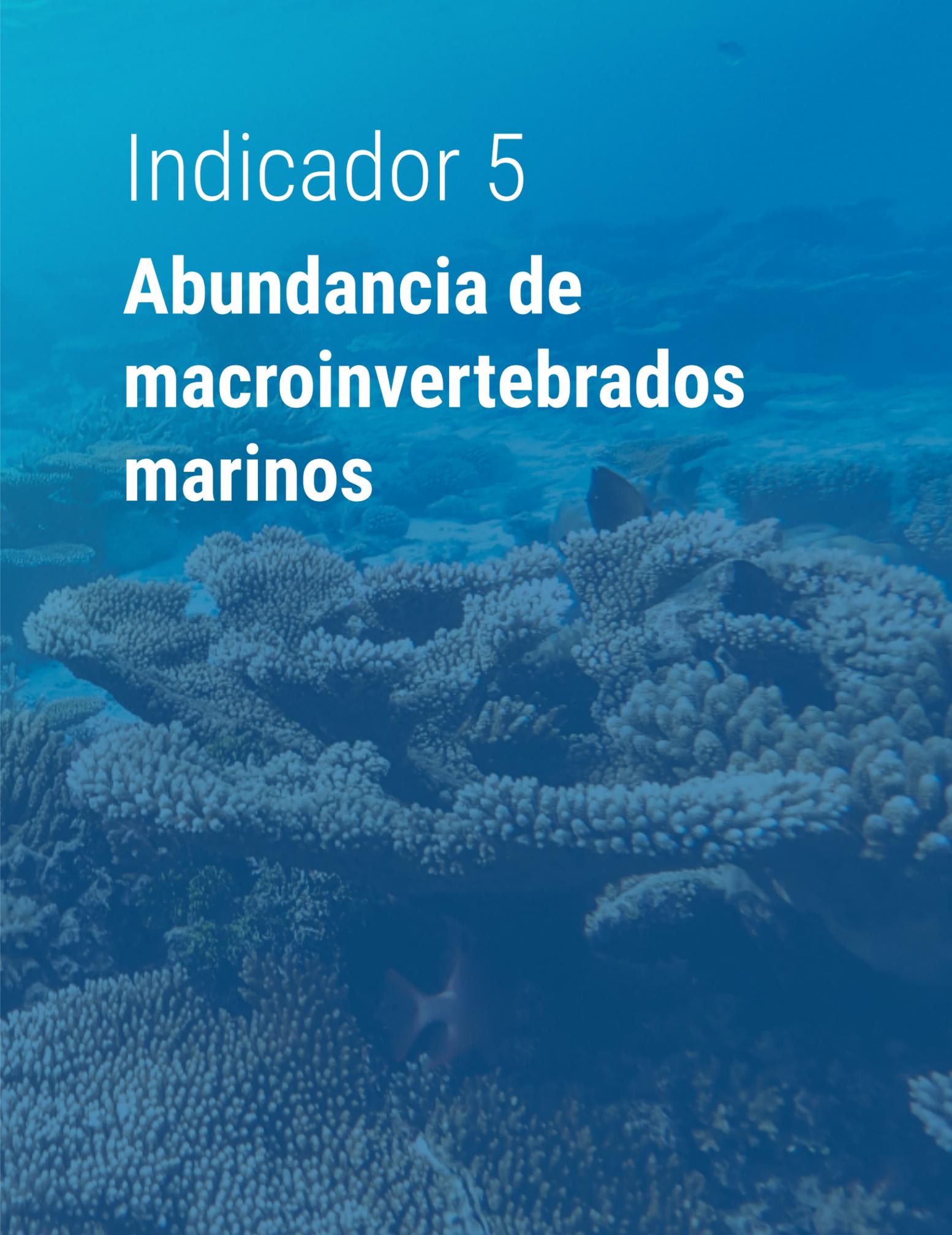


Basado en:

- Almada-Villela, P.C., Sale, P.F., Gold'Bouchot, G. y Kjerfve, B. (2003). Manual de Métodos para el Programa de Monitoreo Sinóptico del SAM. Métodos seleccionados para el Monitoreo de Parámetros Físicos y Biológicos para utilizarse en la Región Mesoamericana. https://www.camafu.org.mx/wp-content/uploads/2017/12/manual-de-metodos-para-el-programa-de-monitoreo-sinoptico-del-sam.html_filet_files2Fimagenes_M12Fdesarrollo20institucional-2FEvaluacion20de20Impacto2FPMSMan03.pdf
- Carrillo-García, D. (2018). Indicadores para monitorear la integridad ecológica de los arrecifes de coral: el caso del caribe mexicano [tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/326059>
- Marks, K.W. y Lang, J. C. (2016). AGRRA Summary Products, version (2016-08). <http://www.agrra.org/data-explorer/explore-summary-products/>
- McField, M. y Kramer, P. (2007). *Healthy reefs for healthy people: a guide to indicators of reef health and social well-being in the Mesoamerican Reef Region*. Smithsonian Institution.
- Rodríguez-Rincón, A. M., Navarrete-Ramírez, S. M., Gómez-López, D. I. y Navas-Camacho, R. (2014). *Protocolo Indicador Condición Tendencia Áreas Coralinas (ICTAC). Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP)*. Invemar, GEF Y PNUD. <http://www.invemar.org.co/documents/10182/14479/01+ProtocoloIndicadorAreasCoralinasdigital.pdf/2cbba4fe-dc3e-423a-b2f1-e191ee42deed>
- Perera-Valderrama, S., Cerdeira-Estrada, S., Martell-Dubois, R., Rosique-de la Cruz, L. O., Caballero-Aragón, H., Ressler, R. (2020). *Protocolos de monitoreo de la biodiversidad marina en áreas naturales protegidas del Caribe mexicano*. CONABIO.

Indicador 5

Abundancia de macroinvertebrados marinos

An underwater photograph of a coral reef. The scene is dominated by various types of coral, including branching and table corals, in shades of light blue and white. Several fish are visible, including a prominent dark-colored fish in the upper right and another in the lower center. The water is clear and blue, with light filtering through from above.

Método de transecto (diseño en la página 30)

De preferencia mida este indicador enseguida de la medición del indicador 5. Sin embargo, si no este no fue medido puede realizar un nuevo transecto siguiendo las instrucciones de la página 30.

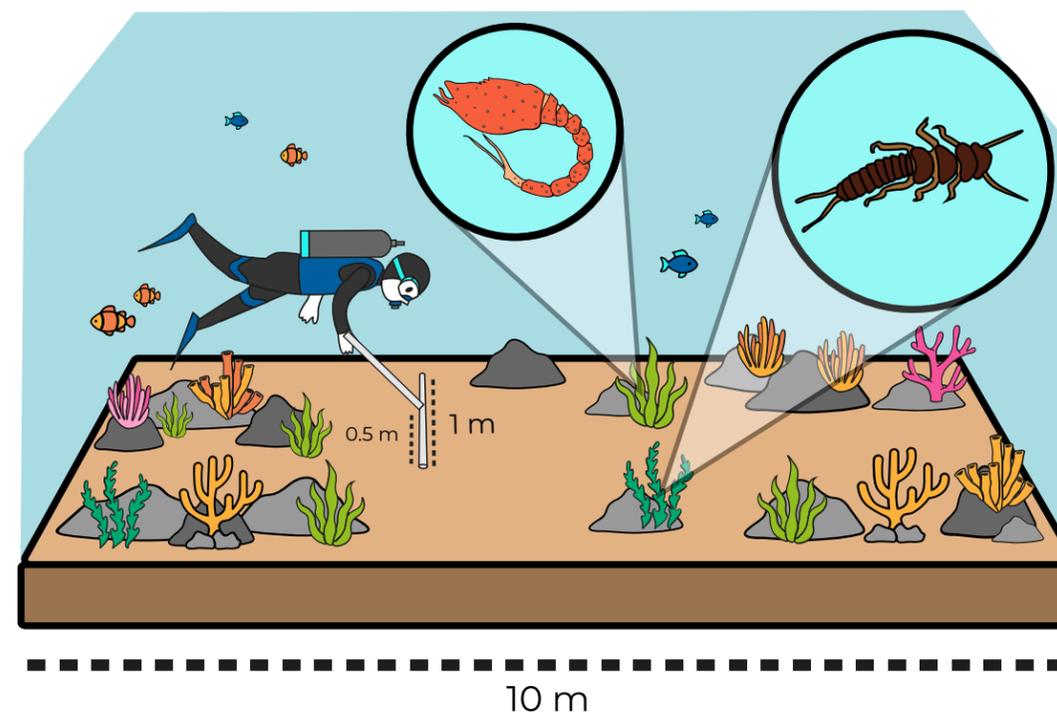
1 Al terminar de recorrer el transecto para peces, de la vuelta (o al inicio del nuevo transecto) y nade a lo largo del mismo pero esta vez tomando en cuenta solo los primeros 10 m de longitud y con un ancho de 0.5 m de cada lado con ayuda de una barra de 1 m.

2 Anote el número de individuos de todas las especies de macroinvertebrados marinos presentes, inspeccionando cuidadosamente el sustrato.

3 Registre datos.

Datos a registrar:

- Coordenadas del sitio
- Número de transecto
- Número de individuos por especie de macroinvertebrado presente
- Indicar si es una especie exótica, comercial y herbívora
- Fotografías de las especies observadas durante el monitoreo (de ser posible)



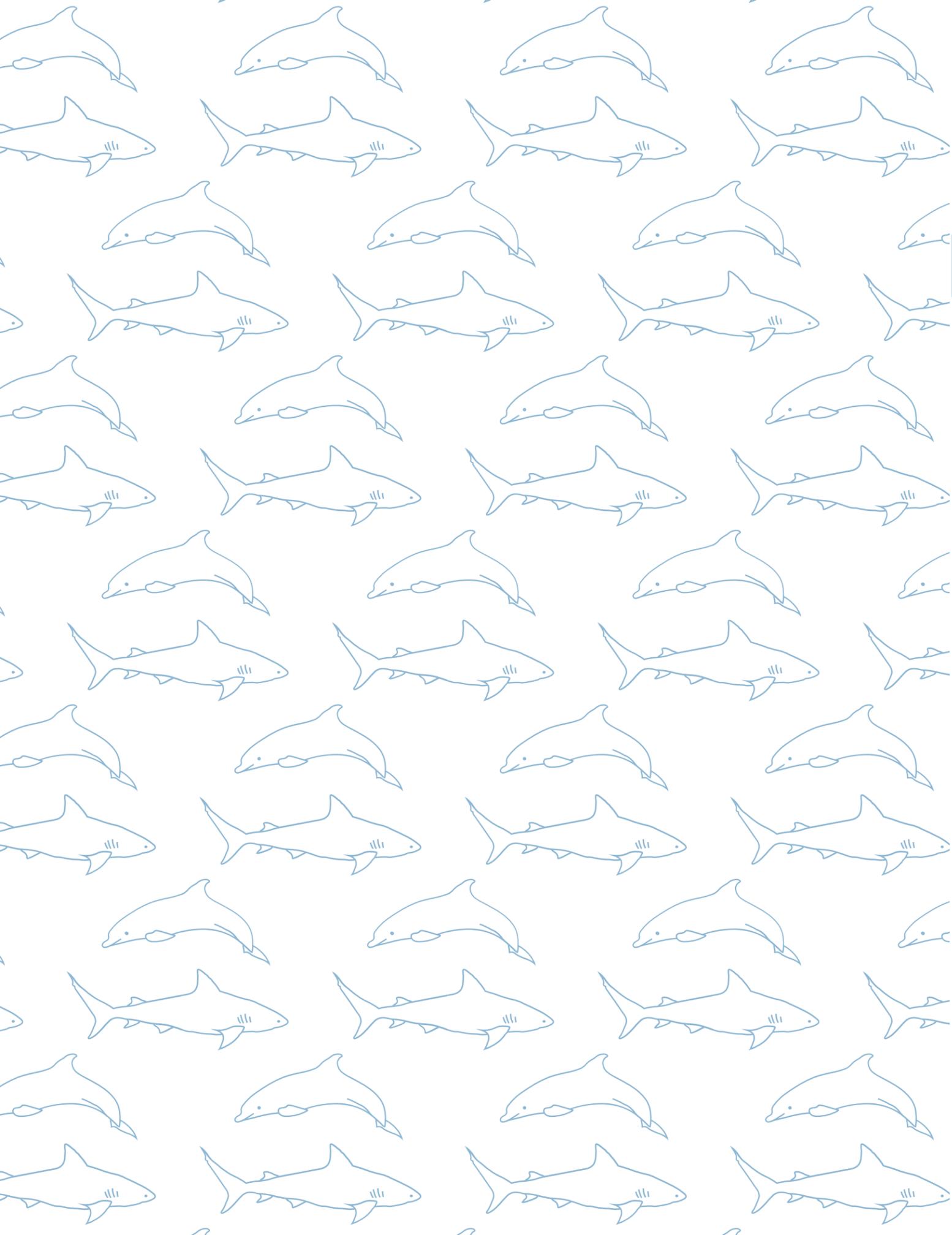
Basado en:

- Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2016). Protocolo PRONAMEC: *Protocolo para el monitoreo ecológico de las playas arenosas*. Proyecto Consolidación de las Áreas Marinas Protegidas. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y El Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF). <http://www.sinac.go.cr/ES/docu/ASP/Protocolo-PRONAMEC-PlayaArenosas.pdf>

Indicador 6

Diversidad de megafauna

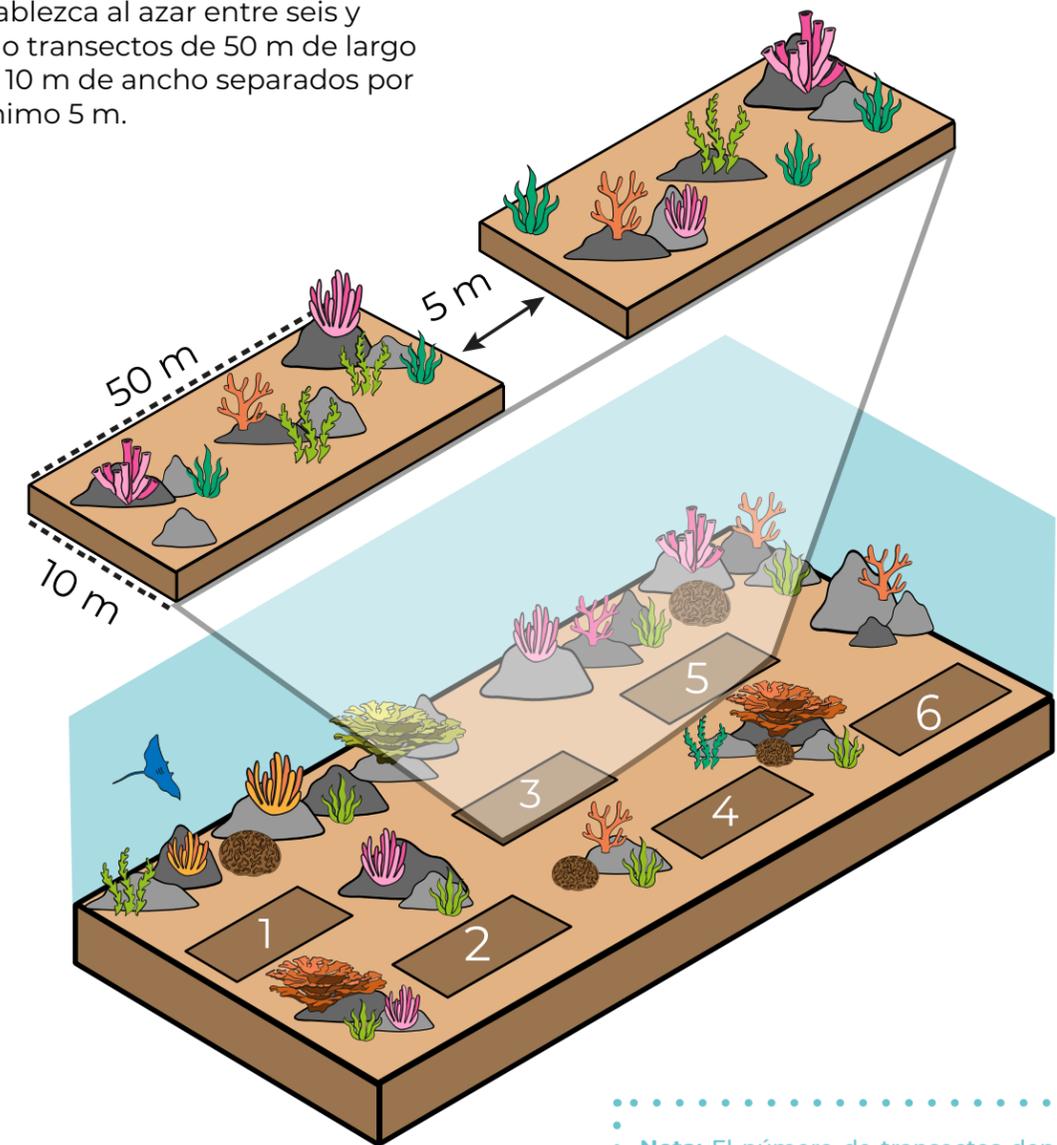




La megafauna presente en los arrecifes de coral comprende como principales grupos a los tiburones, móbulas, tortugas marinas, pinípedos, odontocetos, entre otros. Para medir este indicador se propone utilizar transectos en banda y censos de barrido. Se puede usar de base los transectos y censos de barrido usados en el indicador 5.

Método de transectos de banda

- 1 Establezca al azar entre seis y ocho transectos de 50 m de largo por 10 m de ancho separados por mínimo 5 m.



Nota: El número de transectos dependerá de la extensión y tipo de arrecife de coral, así como la profundidad del sitio y el número de personas que lo realicen.

2 Al inicio y final de cada transecto realizar **censos de barrido**, en el que se registrará la megafauna (tiburones, rayas y tortugas) presente en el interior de un cilindro de 10 m de diámetro y 4 m de altura durante 5 min.

3 De ser posible grabe con una cámara acuática para poder obtener más información como sexo, medidas, madurez, entre otros.

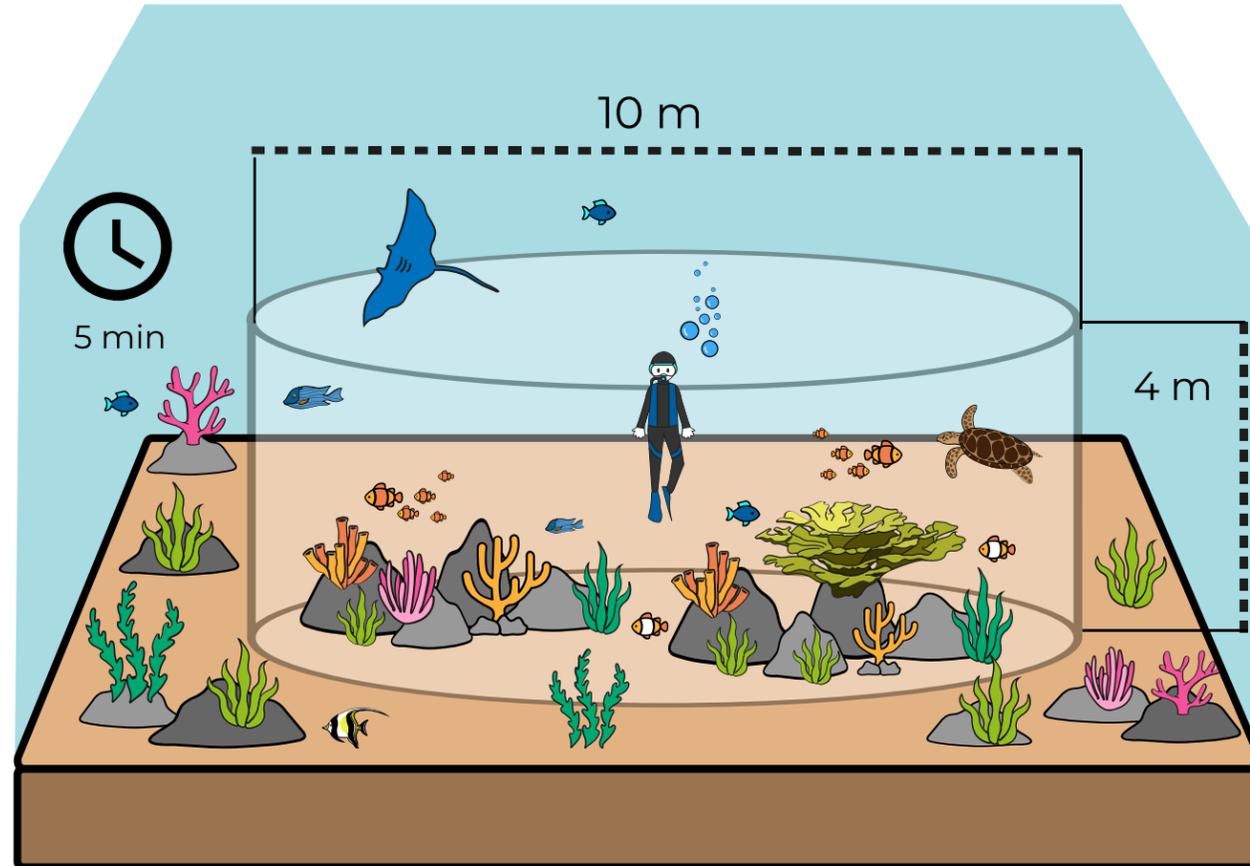
4 Registre datos.

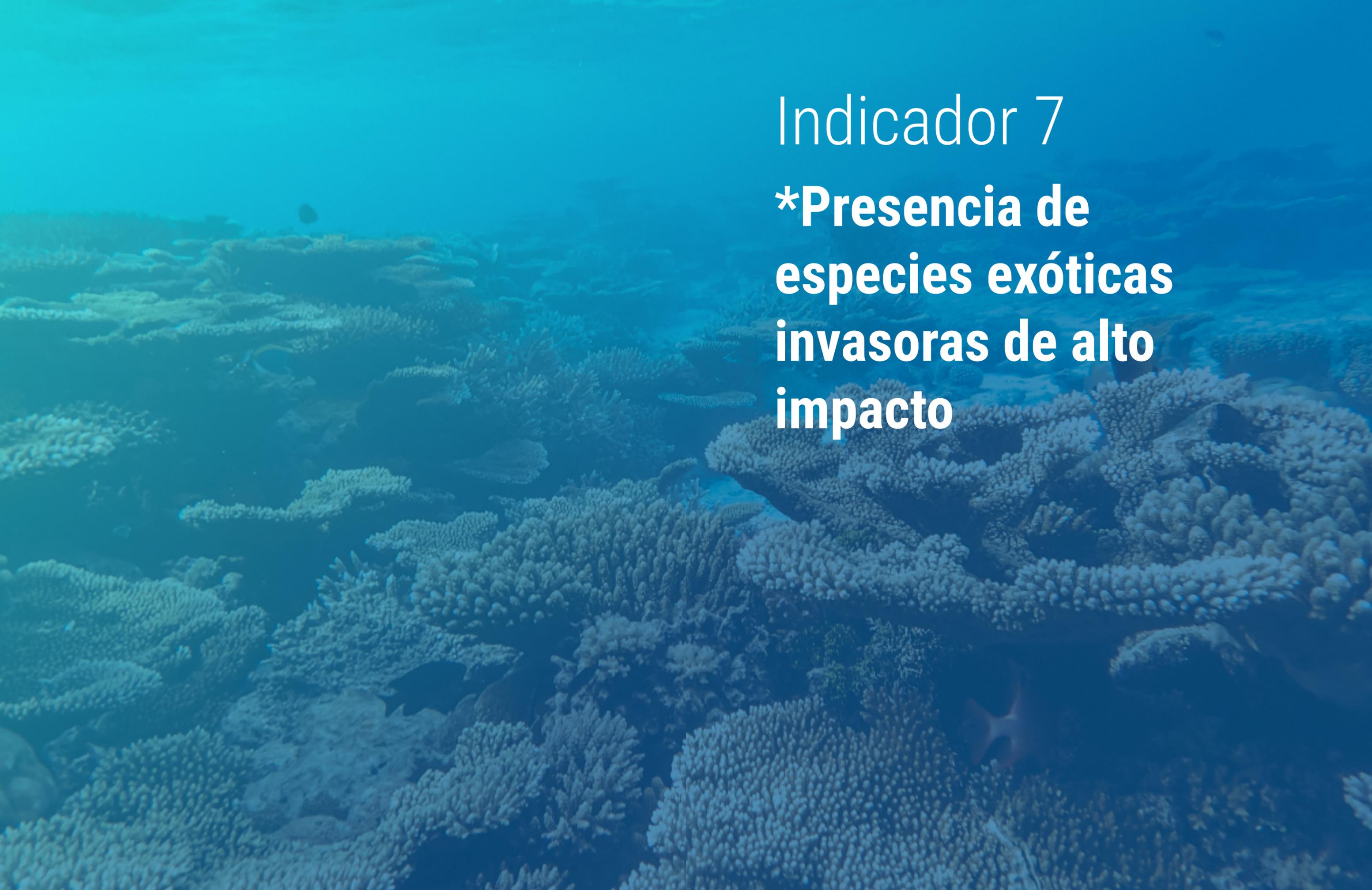
Datos a registrar:

- Coordenadas del sitio
- Número de transecto
- Número de individuos por especie
- Fotografías y video de las especies observadas durante el monitoreo (de ser posible)
- Observaciones

Basado en:

- Eckert, K. L., Bjorndal, K. A., Abreu-Grobois, F. A. y Donnelly, M. (2000). *Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas*. Grupo especialista en tortugas marinas UICN/CSE.
- Myers, R. A. y Worm, B. (2005). Extinction, survival or recovery of large predatory fishes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1453), 13-20.



An underwater photograph of a coral reef. The water is clear and blue. The coral is diverse, with many branching and table corals. Several fish are visible, including a prominent black fish in the lower center and a brown fish in the lower right. The overall scene is vibrant and healthy.

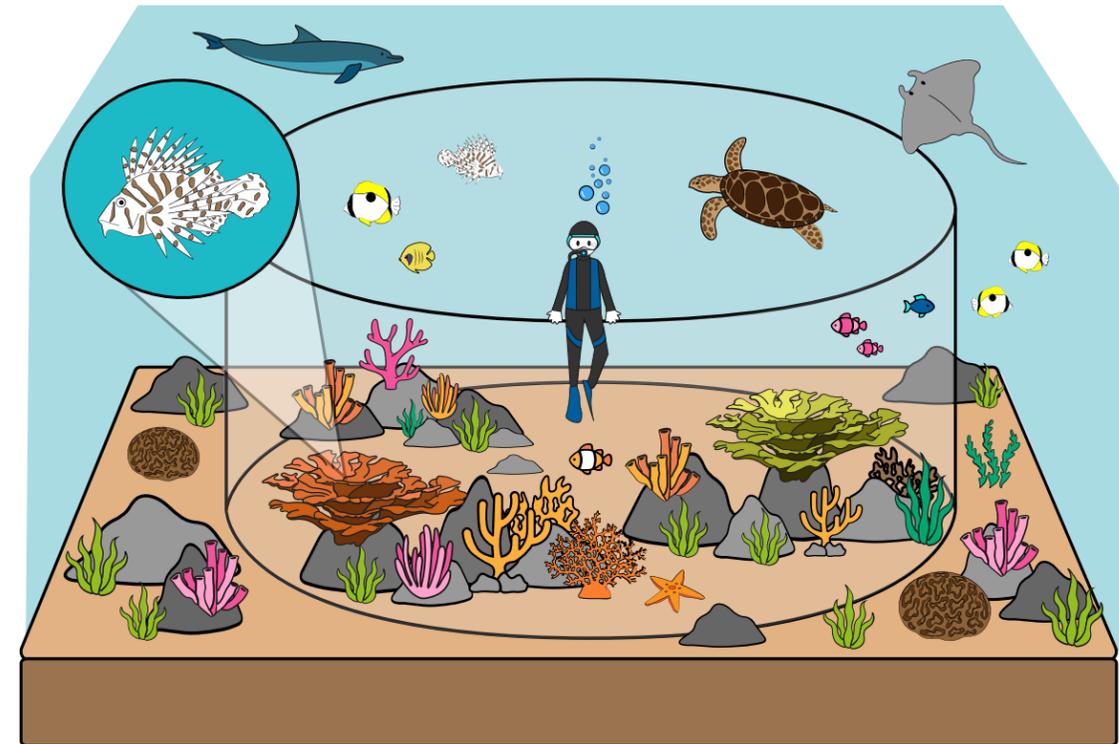
Indicador 7

***Presencia de
especies exóticas
invasoras de alto
impacto**



De acuerdo con la legislación mexicana, una especie exótica-invasora es aquella que no es nativa del lugar en el que se encuentra, estando fuera de su distribución natural. Mantiene la capacidad de establecerse, sobrevivir y reproducirse en hábitats y ecosistemas diferentes, volviéndose una amenaza para las especies nativas en cuanto a la disminución de la diversidad biológica, salud pública y económica (DOF, 2010).

Este indicador se **mide al mismo tiempo** que se mide el indicador 4 (*biomasa de peces herbívoros y comerciales) y el indicador 6 (diversidad de megafauna). Mientras llevan a cabo los transectos o el censo de barrido (para conocer cómo realizar estos métodos vea el indicador 4 y 6).



1 Haga énfasis en la presencia de especies exóticas invasoras para las que haya evidencia de su elevado impacto sobre la salud del arrecife en cuestión, como por ejemplo el pez león.

2 Registre a cualquier especie exótica-invasora que se observe durante el monitoreo.

3 Registre datos.

Datos a registrar:

- Coordenadas del sitio
- Número de transecto
- Número de individuos por especie
- Talla de cada individuo
- Fotografías de las especies observadas durante el monitoreo (de ser posible)

Basado en:

- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2010). 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. https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091
- Komar, O., Schlein, O. y Lara, K. (2014). *Guía para el monitoreo de integridad ecológica en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas y Vida Silvestre de Honduras*. ICF, SINFOR, Escuela Agrícola Panamericana (EAP/Universidad Zamorano) y Proyecto USAID ProParque.
- Morris Jr, J. A. y Akins, J. L. (2013). *El pez león invasor: guía para su control y manejo*. Gulf and Caribbean Fisheries Institute Special Publication Series, (2), 126-126.

Indicador 8

*Cobertura de especies de corales

Indicador 9

*Proporción de especies de coral constructoras/ oportunistas



1 Para la medición de estos indicadores, al azar establezca de 6 a 8 transectos en línea recta de 10 m de largo y con una separación de 5 a 10 m entre sí. Aplique más transectos si el sitio lo permite.

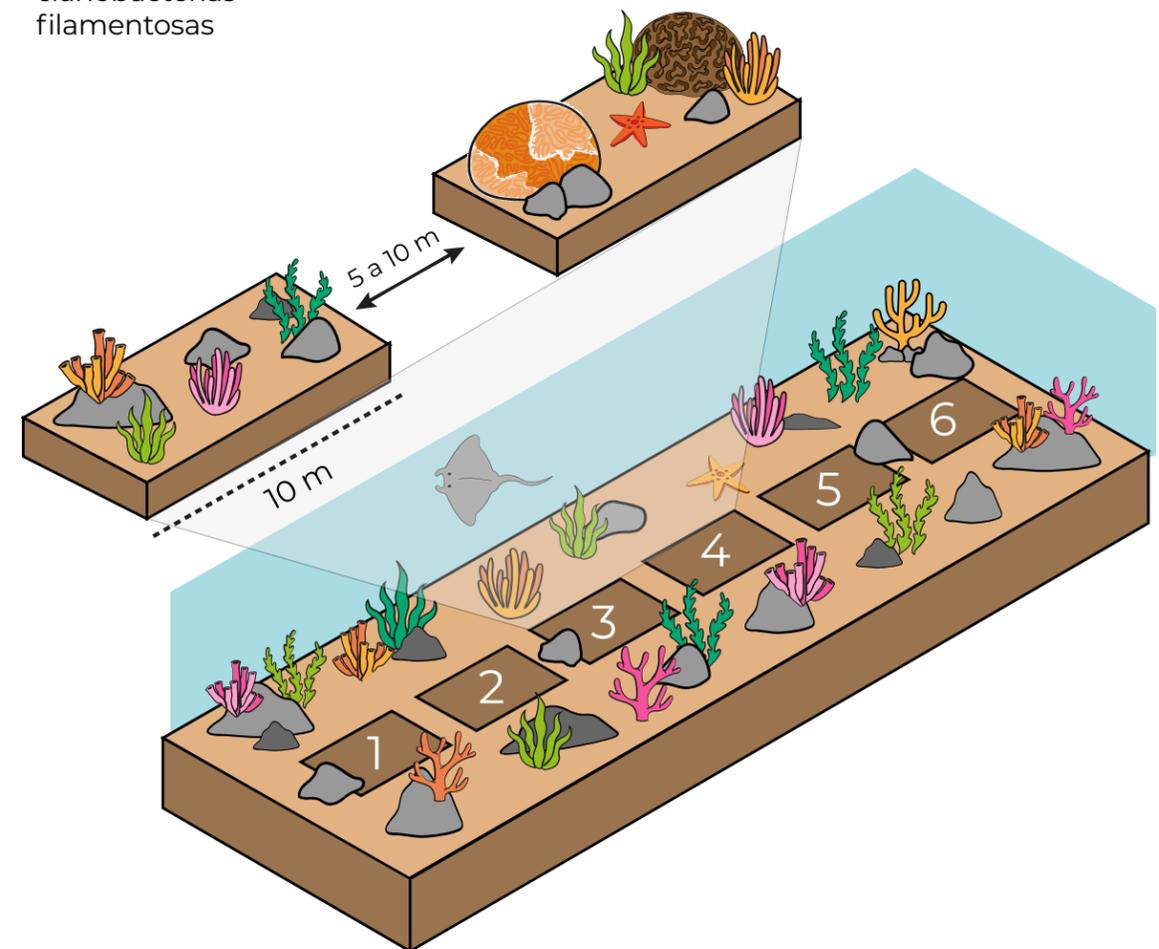
3 Registre datos.

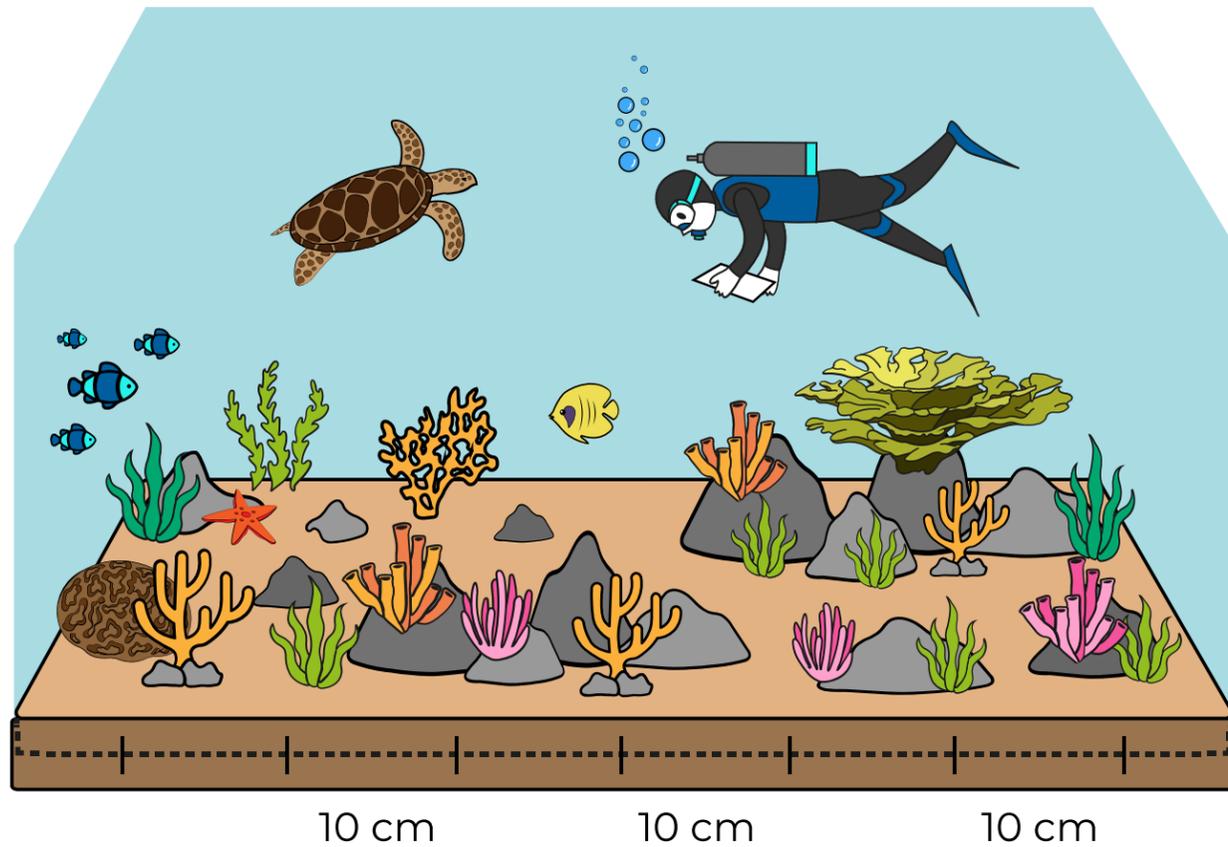
2 Utilizando la técnica del transecto de intercepto de puntos, recorra a lo largo del transecto y registre cada 10 cm la naturaleza del organismo o tipo de sustrato directamente debajo de ese punto, de acuerdo con la siguiente clasificación:

- Coral
- Macroalgas:
 - carnosas,
 - calcáreas
 - ramificadas,
 - césped,
 - cianobacterias filamentosas
- Gorgonáceos
- Esponjas
- Octocorales
- Escombros
- Roca
- Arena

Datos a registrar (indicador 8):

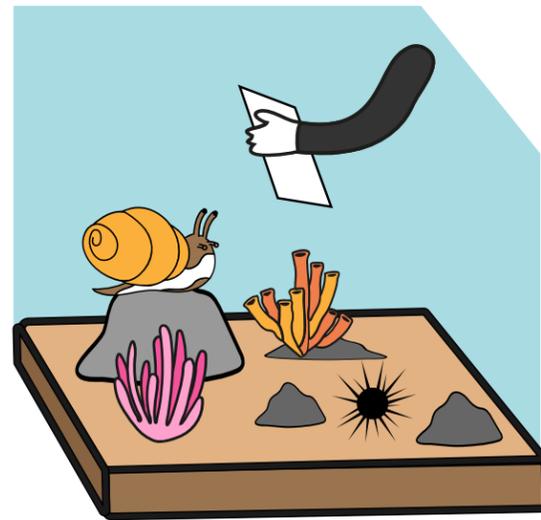
- Coordenadas del sitio
- Número de transecto
- Clasificación
- Nombre del género o especie observado
- Número de individuos
- Especificar si es especie invasora





Basado en:

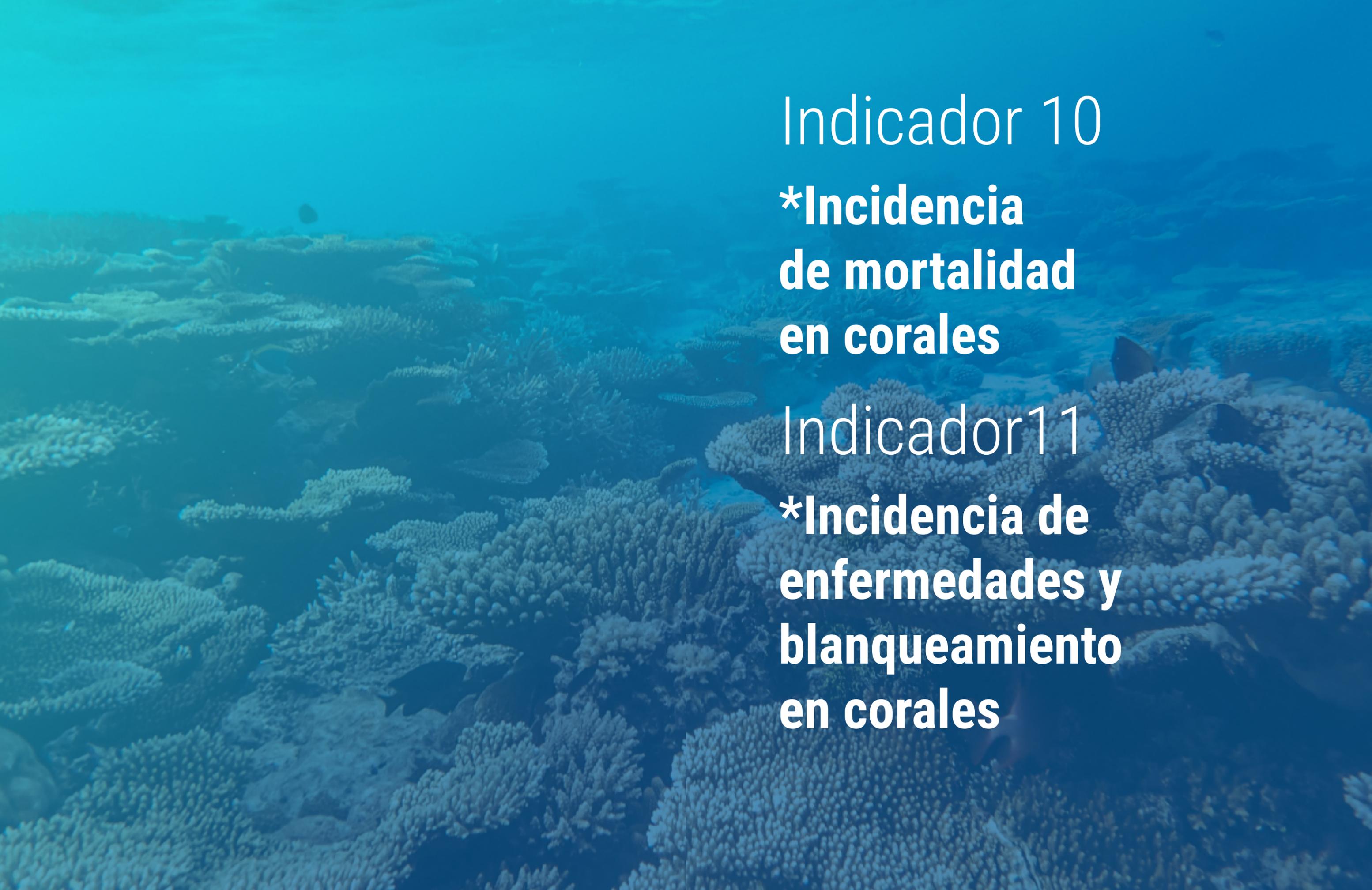
- Carrillo-García, D. (2018). *Indicadores para monitorear la integridad ecológica de los arrecifes de coral: el caso del caribe mexicano* [tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)]. Repositorio institucional <https://repositorio.unam.mx/contenidos/326059>
- Perera-Valderrama, S., Cerdeira-Estrada, S., Martell-Dubois, R., Rosique-de la Cruz, L. O., Caballero-Aragón, H., Ressler, R. (2020). *Protocolos de monitoreo de la biodiversidad marina en áreas naturales protegidas del Caribe mexicano*. CONABIO.
- Veron, J. y Stafford-Smith, M. (2000). Corals of the world: Vols. 1-3 AIMS and CRR. *Revista de Biología Tropical*, 49(3-4), 1289-1290 https://www.researchgate.net/publication/262750730_Veron_JEN_2000_Corals_of_the_world_Vols_1-3_AIMS_and_CRR_Queensland_Australia
- Zepeda-Centeno, C., Mariño-Tapia, I., McLeod, E., Rodríguez-Martínez, R., Álvarez-Filip, L., Banaszak, A. T., Escudero-Castillo, M., Silva-Casarín, R., Mendoza-Baldwin, E., Beck, M. y Shaver, E. (2018). *Guía de manejo y restauración de arrecifes para mejorar la protección costera: recomendaciones para aplicación global basadas en lecciones aprendidas en México*. The Nature Conservancy. <https://reefresilience.org/wp-content/uploads/Guia-de-Manejo-y-Restauracion-de-Arrecifes.pdf>



*Si debajo del punto hay organismos como erizos o caracoles, trate de moverlos y registre el sustrato que hay debajo de estos.

Datos a registrar (indicador 9):

- Nombre científico de las especies formadoras de coral
- Nombre científico de las especies de coral con complejidad estructural menor
- Valor de proporción de especies de coral constructoras
- Valor de proporción de especies de coral oportunistas

An underwater photograph of a coral reef. The water is clear and blue. In the foreground, there are various types of coral, including branching and table corals. Several small fish are visible swimming around the coral. The overall scene is vibrant and healthy.

Indicador 10

***Incidencia
de mortalidad
en corales**

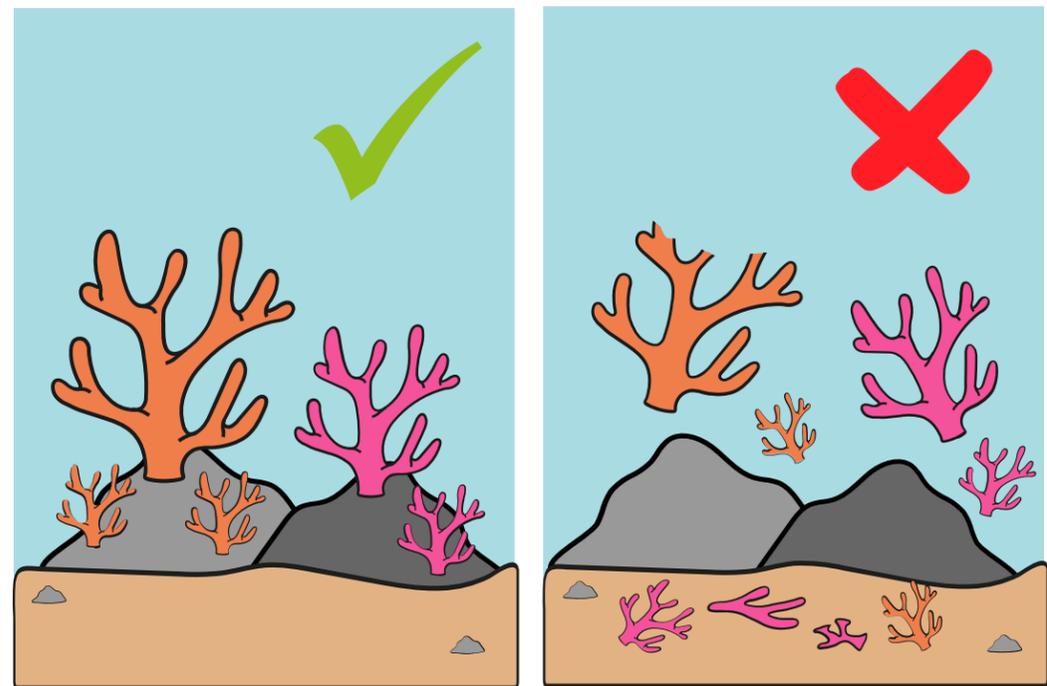
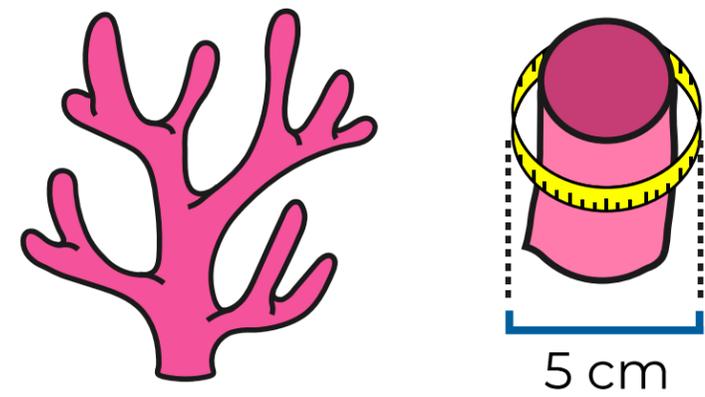
Indicador 11

***Incidencia de
enfermedades y
blanqueamiento
en corales**



De preferencia mida estos indicadores al finalizar el recorrido de intercepto de puntos de los indicadores *cobertura de especies de corales y *proporción de especies de coral constructoras/oportunistas, ya que los transectos utilizados pueden ser los mismos. En caso de no contar con ellos, revise el protocolo de ese indicador para establecerlos.

- 1 Haga el recorrido de regreso.
- 2 Deténgase en el primer coral (o porción) que este localizado directamente bajo la línea del transecto que tenga > 5 cm de diámetro y que esté en su posición de crecimiento original.
- 3 Registre datos.



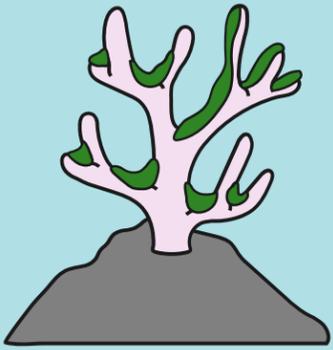
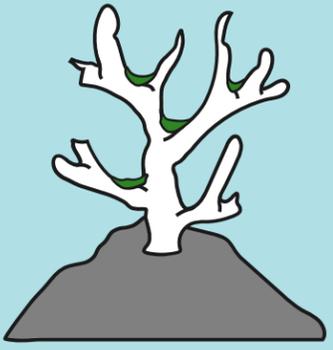
*Si la colonia está suelta, entonces pásela por alto.

Para cada coral observado, registre la siguiente información:

Evaluación de la prevalencia de mortalidad de corales mediante observaciones visuales desde una

vista plana desde un ángulo paralelo al eje de crecimiento. Se calcula el porcentaje de coral que ha "muerto recientemente" y el porcentaje que "murió hace tiempo".

Dado que es difícil identificar una enfermedad específica, las enfermedades se distinguen mediante categorías de color visibles desde una vista en plano en términos del porcentaje del total de colonias afectadas:

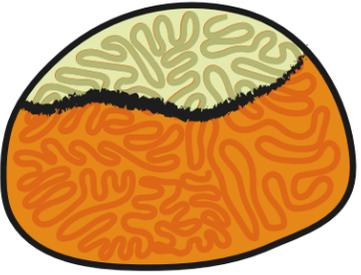
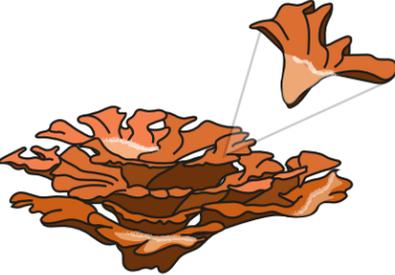
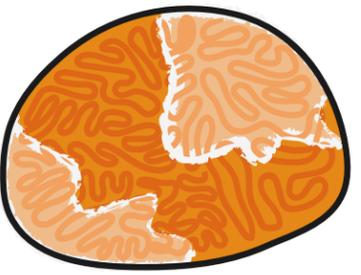
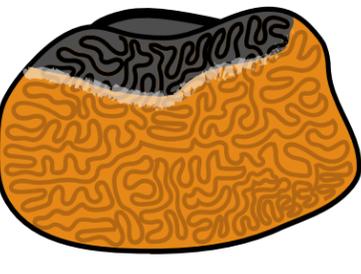
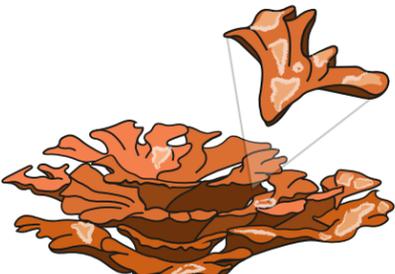
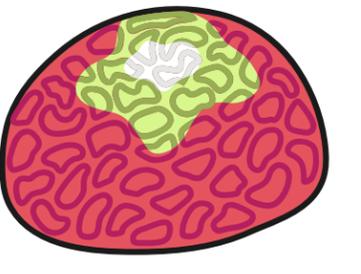
Muerte muy reciente	Muerte reciente	Muerte no tan reciente
		
Es visible el esqueleto blanco intacto (muerto por un mes o menos)	El coral puede estar cubierto por una delgada capa de algas filamentosas o sedimento (menos de 6 meses)	La estructura del coral puede estar ligeramente erosionada o cubierta, pero puede identificarse a nivel de género (menos de 2 años)

Datos a registrar:

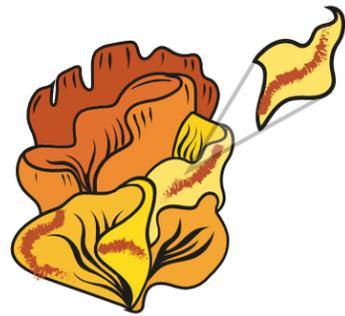
- Nombre (género) o especie
- Profundidad del agua en la parte superior de los corales al principio y al final de cada transecto
- Límites de la colonia, basado en el esqueleto conjuntivo o común, tejido conectivo vivo, tamaño de los pólipos y color de los pólipos. Utilizando un instrumento de medición, mida el cm más cercano
- Diámetro máximo proyectado (áreas vivas + muertas) a vista de plano
- Altura máxima (áreas vivas + muertas) de la base del sustrato de la colonia no de la base del arrecife

**** El diámetro debe ser medido perpendicularmente al eje de crecimiento****

Asimismo, registre la presencia de enfermedades microbianas y de afectaciones por blanqueamiento que sean visibles desde una vista en plano en términos del porcentaje del total de colonias afectadas.

BN = Banda negra	BB = Banda blanca	PB = Plaga blanca
		
Banda negra (multiespecífica). Banda concéntrica o lineal, de color granate a negro, de 1 a 30 mm de ancho.	Banda blanca (solo <i>Acropora</i>). Expone el esqueleto en una banda que avanza desde la base hacia las puntas de la rama.	Plaga blanca (multiespecífica). El esqueleto desnudo está intacto. El frente de la enfermedad es una línea marcada; no se ve ninguna comunidad microbiana.
MO = Mancha oscura	MB = Mancha blanca	BA = Banda amarilla
		
Mancha oscura. Manchas irregulares de tejido oscuro. La superficie suele estar ligeramente hundida.	Mancha blanca, necrosis irregular (solo <i>Acropora</i>). Lesiones irregulares en los lados superiores de las ramas, de 5-10 cm de diámetro. La reinfección da como resultado un mosaico de lesiones cubiertas de algas más antiguas y recientemente expuestas.	Banda amarilla, mancha amarilla (por lo general en <i>Montastraea</i>). Banda concéntrica de color amarillo pálido, tejido vivo. Una pequeña mancha en el centro que murió recientemente y se agranda a medida que la enfermedad se expande hacia afuera.

BR = Banda roja



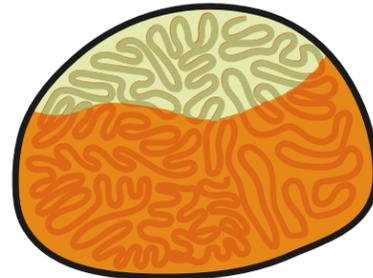
Banda roja (*Gorgonia* y *Agaricia*). Banda densa, de color granate a rojo, de 1 a 25 mm de ancho. Menos común que la enfermedad de la banda negra.

D = Desconocido



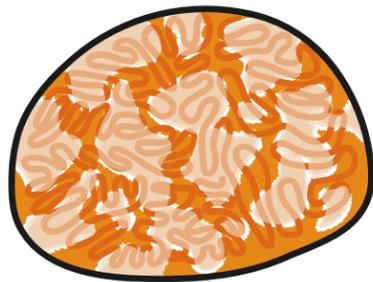
Caracterice el tejido **DECOLORADO** según la severidad aproximada de blanqueamiento:

P = Pálido



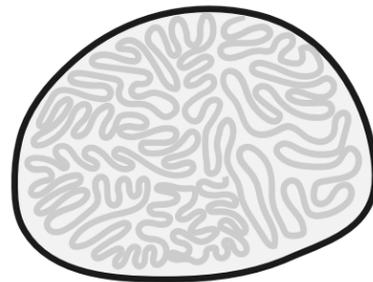
Pálido (blanqueamiento de tejidos del coral).

BP = Blanqueamiento parcial



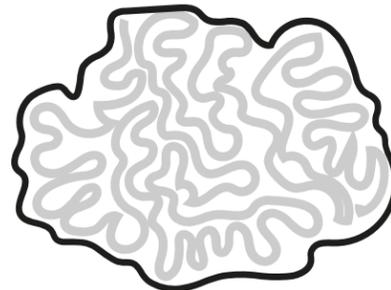
Blanqueamiento parcial (parches de tejido totalmente decolorado o blanco).

BL = Blanqueado



Blanqueado (el tejido está totalmente blanco, no zooxantela visible).

EPTCD = Enfermedad por Pérdida de Tejido en Corales Duros



Enfermedad por Pérdida de Tejido en Corales Duros o síndrome blanco, parches o anillos blancos de tejido necrótico, generalmente irradiando hacia afuera quedando el esqueleto desnudo.

Basado en:

- Caballero, H., Alcolado, P.M., González, P., Perera, S. y Hernández-Fernández, L. (2013). *Protocolo para el monitoreo de bentos en arrecifes coralinos. Versión ajustada a partir del método de campo AGRRA*. Centro Nacional de Áreas Protegidas.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2009). *Manual coordinado de procedimientos ambientales, administrativos y legales para la atención inmediata a los arrecifes por encallamientos*. Gobierno Federal, SEMARNAT, SEMAR, SCT, PGR.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2019). *Plan de Acción del Síndrome Blanco en Arrecifes del Caribe Mexicano*. Proyecto Manejo Integrado "de la Cuenca al Arrecife" de la Ecorregión del Arrecife Mesoamericano-MAR2R/CCAD.
- Flower, J., Ortiz, J. C., Chollett, I., Abdullah, S., Castro-Sanguino, C., Hock, K, ... y Mumby, P.J. (2017). Interpreting coral reef monitoring data: A guide for improved management decisions. *Ecological Indicators*, 72, 848-869. www.coris.noaa.gov/activities/reef_managers_guide/reef_managers_guide.pdf
- Marshall, P. y Schuttenberg, H. (2006). *A reef manager's guide to coral bleaching*. NOAA, Australian Government y IUCN.
- McField, M. y Kramer, P. (2007). *A guide to indicators of reef health and social well-being in the Mesoamerican Reef Region*. Healthy Reefs Initiative. https://www.sica.int/documentos/plan-de-accion-del-sindrome-blanco-en-arrecifes-del-caribe-mexicano-proyecto-mar2r-ccad_1_120215.html
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2016). *Protocolo PRONAMEC: Protocolo para el Monitoreo Ecológico de las Formaciones Coralinas*. Proyecto Consolidación de las Áreas Marinas Protegidas. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y El Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF). <http://www.sinac.go.cr/ES/docu/ASP/Protocolo-PRONAMEC%20Arrecifes.pdf.pdf>

An underwater photograph of a coral reef. The water is clear and blue. In the foreground, there are large, branching coral structures. Several small, dark-colored fish are swimming around the coral. The background shows more coral and the open water of the reef.

Indicador 12

***Densidad de reclutas de coral**



En los mismos transectos utilizados para los indicadores 8 al 11 (cobertura de especies de coral a incidencia de enfermedades y blanqueamiento en corales). En caso de no contar con ellos, revise el protocolo de esos indicadores para establecerlos.

1 Ubique cinco cuadrantes de PVC con una medida de 25 cm x 25 cm. Coloque cada cuadrante al azar en un ancho de transecto, tomando como referencia los metros 1, 3, 5, 7 y 9 del transecto de 10 m.

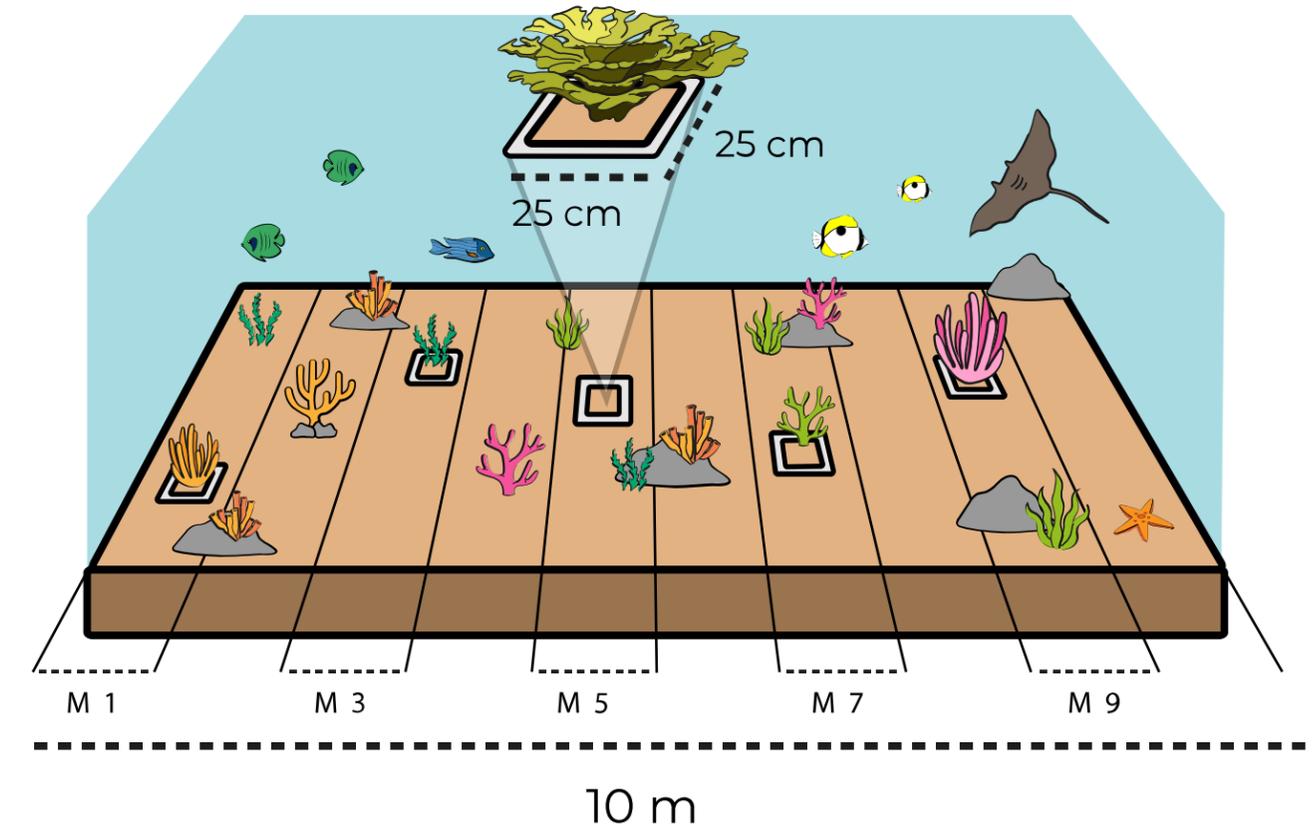
3 En cada cuadrante identifique los corales menores a 5 cm.

4 Registre datos.

2 Evite parches notorios de arena y animales bénticos (otros corales, escleractíneos, gorgonias, esponjas, tunicados, entre otros). Se considera un punto adecuado a aquel que presenta > 80 % de la superficie cubierta con sustrato libre o cubierto de algas.

Datos a registrar:

- Transecto
- Número de cuadrante
- Género o especie
- Diámetro máximo
- Sexual o asexual



Basado en:

- Carrillo-García, D. (2018). Indicadores para monitorear la integridad ecológica de los arrecifes de coral: el caso del caribe mexicano [tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)]. Repositorio institucional <https://repositorio.unam.mx/contenidos/326059>
- Healthy Reefs Initiative (2008). *Eco-health Report Card for the Mesoamerican Reef: An Evaluation of Ecosystem Health*. AGRRA. <https://www.agrra.org/wp-content/uploads/2016/06/HRI-2008-Report-Card-honduras.pdf>
- Perera-Valderrama, S., Cerdeira-Estrada, S., Martell-Dubois, R., Rosique-de la Cruz, L. O., Caballero-Aragón, H., Ressler, R. (2020). *Protocolos de monitoreo de la biodiversidad marina en áreas naturales protegidas del Caribe mexicano*. CONABIO.

Indicador 13

*Cobertura de macroalgas carnosas, algas filamentosas y algas costrosas

Indicador 14

Índice de macroalgas (IM)



Para la medición de estos indicadores, utilice los mismos cuadrantes establecidos para el monitoreo del indicador 13 (densidad de reclutas de coral). Para saber cómo se establecen los cuadrantes, vea el protocolo ese indicador.

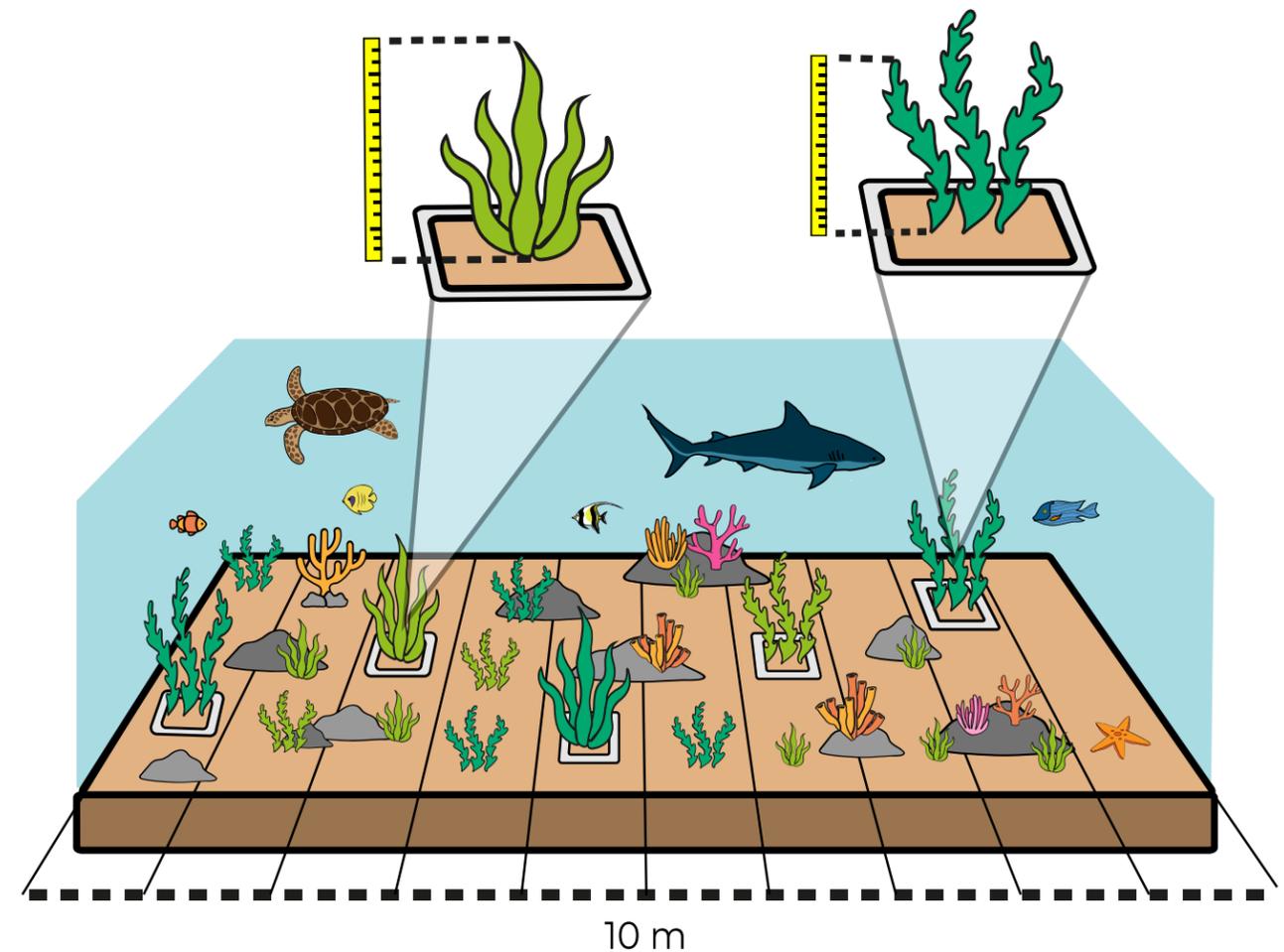
1 En dichos cuadrantes, mida la altura de macroalgas, tomando las tres más altas por cuadrante, para después calcular la media de alturas de las tres hojas más largas de cada especie.

2 Posteriormente, mida el porcentaje de cobertura que ocupan en cada cuadrante y promedie.

3 Registre datos.

Datos a registrar:

- Transecto
- Porcentaje de macroalgas, algas filamentosas y algas costrosas
- Altura de macroalgas y algas filamentosas y alturas de las tres hojas más largas de cada especie

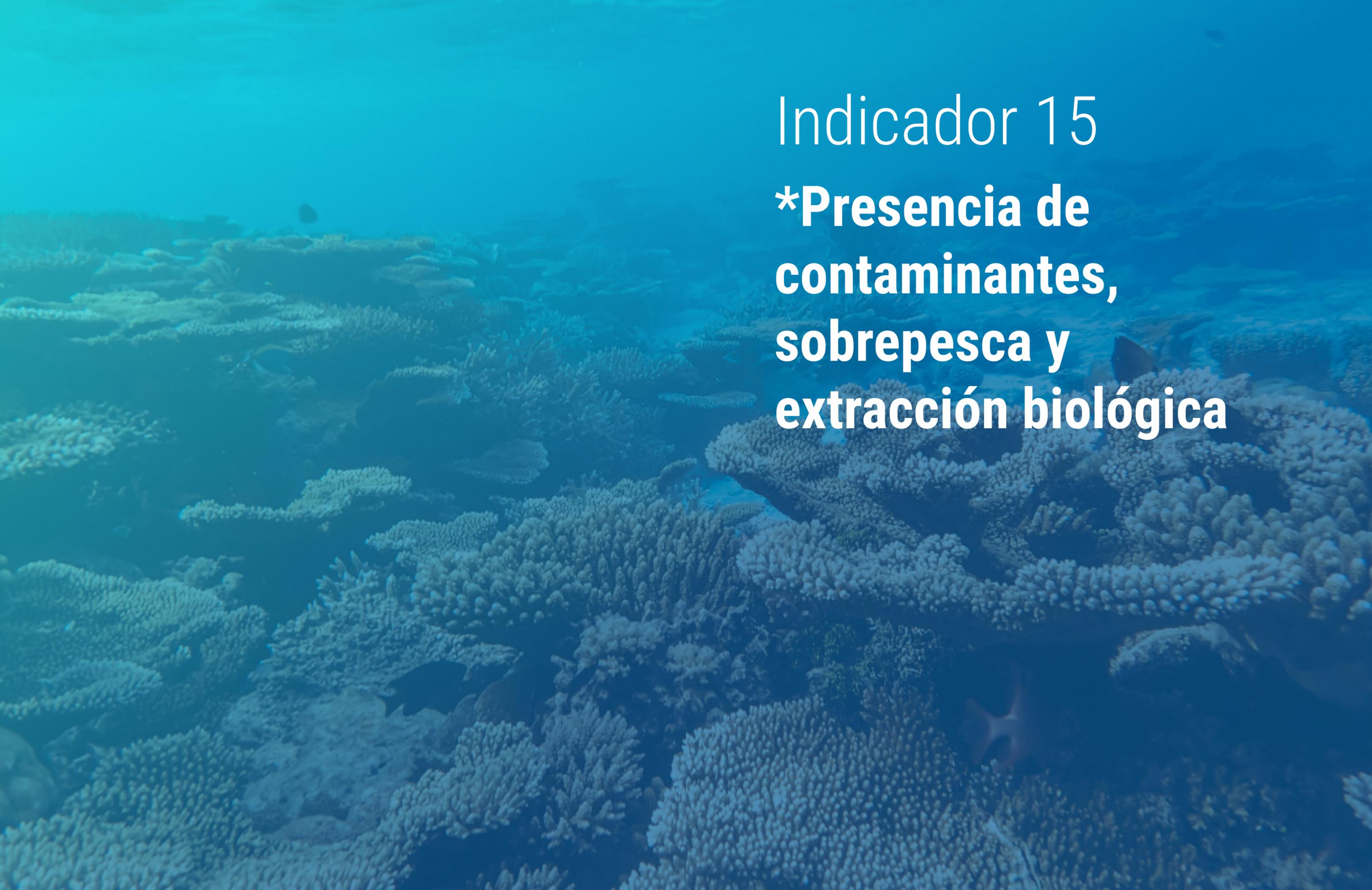


Grupo	Morfología	Tamaño (m)	Ejemplos	Características ecológicas
Filamentosas	Ramificadas o uniseriadas, ligeramente corticadas	10^{-3} - 10^{-2}	<i>Ectocarpus</i> , <i>Cladophora</i> , <i>Ceramium</i>	Alta tasa reproductiva
Foliosas	Tubulares o foliosas con múltiples o una capa de células	10^{-1}	<i>Dictyota</i> , <i>Ulva</i> , <i>Hypoglossum</i>	
Corticadas	Corteza y médula de múltiples capas, muy ramificadas	10^{-1}	<i>Colpomenia</i> , <i>Codium</i> , <i>Hypnea</i>	
Coriáceas	Corteza y médula de múltiples capas con mayor complejidad morfológica	10^{-1} - 10^1	<i>Sargassum</i>	Mayor resistencia al estrés físico
Coralinas articuladas	CaCO ₂ en segmentos de tejido, se encuentran unidos por intergeniculas flexibles	10^{-1}	<i>Amphiroa</i> , <i>Halimeda</i> , <i>Galaxaura</i>	

Fuente: Ramírez et al., 2019

Basado en:

- McField, M. y Kramer, P. (2007). *Healthy reefs for healthy people: a guide to indicators of reef health and social well-being in the Mesoamerican Reef Region*. Smithsonian Institution.
- Mumby, P. J., Bejarano, S., Golbuu, Y., Steneck, R. S., Arnold, S. N., Van Woesik, R. y Friedlander, A. M. (2013). Empirical relationships among resilience indicators on Micronesian reefs. *Coral reefs*, 32(1), 213-226.
- Perera-Valderrama, S., Cerdeira-Estrada, S., Martell-Dubois, R., Rosique-de la Cruz, L. O., Caballero-Aragón, H., Ressler, R. (2020). *Protocolos de monitoreo de la biodiversidad marina en áreas naturales protegidas del Caribe mexicano*. CONABIO.

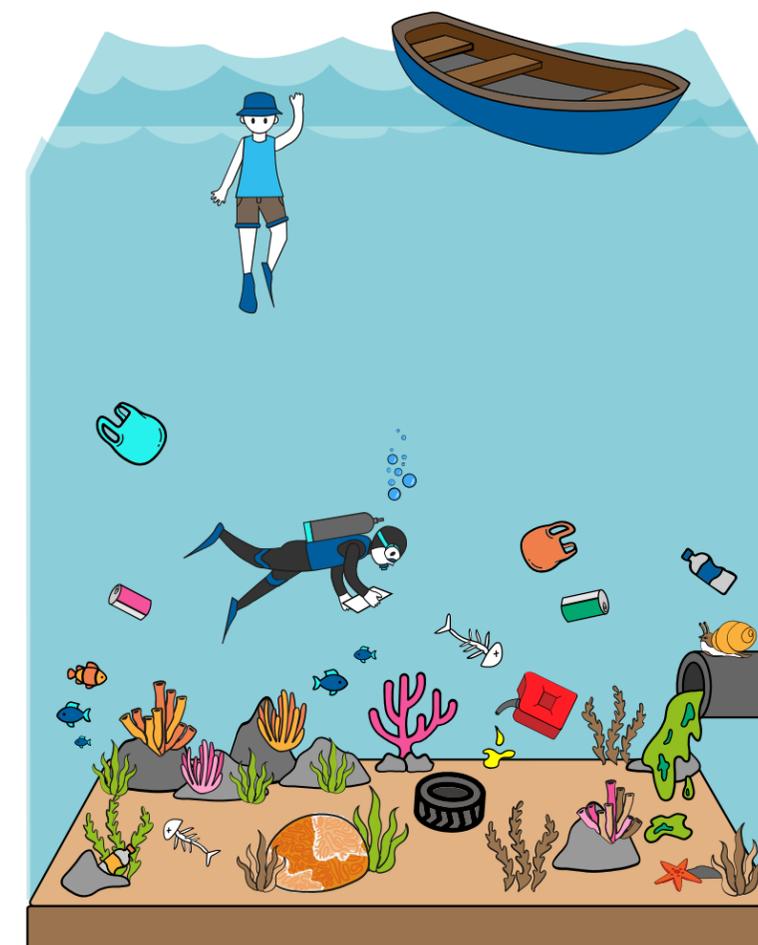
An underwater photograph of a coral reef. The scene is dominated by various types of coral, including branching and table corals, in shades of brown and tan. Several dark-colored fish are visible swimming through the water. The background is a deep, clear blue, suggesting a healthy marine environment. The text is overlaid on the right side of the image.

Indicador 15
***Presencia de
contaminantes,
sobrepesca y
extracción biológica**



Para la medición de este indicador, durante el monitoreo de los indicadores 8 al 14 (cobertura de especies de coral al Índice de macroalgas), **deberá observar detalladamente los arrecifes e indicar si existe la presencia dentro de la zona arrecifal de:**

- Residuos sólidos (plásticos, aluminios, papel, bolsas, entre otros).
- Si ocurrió el derrame de alguna sustancia líquida (gasolina, aceite, petróleo).
- Descargas de aguas residuales.
- Evidencias de pesca (redes de pesca, anzuelos, restos de peces y/o tiburones, boyas).
- Presencia de embarcaciones pesqueras (mayores o menores), turistas o estudiantes dentro de la zona arrecifal.
- Evidencias de ilícitos (p. ej. saqueo de organismos, vandalismo, etc.).
- Usuarios del ecosistema haciendo malas prácticas.



Datos a registrar:

- Coordenadas geográficas del sitio donde se observó la perturbación
- **Tipo de factor de presión:** residuo sólido, residuo líquido, evidencia de pesca, pesca comercial o deportiva y la extracción de algún elemento biológico. Es importante que por cada uno de estos tipos describa las características de los residuos (sólidos y/o líquidos) y lugar de origen (en caso de cruceros internacionales)
- En el caso de las embarcaciones pesqueras, indique si pertenece a una embarcación local o foránea, que tipo de especie (si la conoce) se está pescando, el arte de pesca que se está utilizando y una aproximación del volumen o número de individuos pescados
- Con respecto a la extracción de elementos biológicos mencione si corresponde a un grupo de estudiantes o turistas, si son estudiantes identifique su origen, verifique si cuentan con la autorización del área natural protegida y si cuentan con permiso de colecta otorgado por la SEMARNAT. Si son turistas, indique si están acompañados por algún prestador de servicios turísticos
- Cualquier observación relacionada con el monitoreo de este indicador

Basado en:

- FMCN, CONAFOR, USAID Y USFS (2018). *Manual para muestrear la vegetación en bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas, BIOCUMUNI-Monitoreo Comunitario de la Biodiversidad, una guía para núcleos agrarios*. Comisión Nacional Forestal- Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza.

Indicador 16

Complejidad del relieve del fondo marino

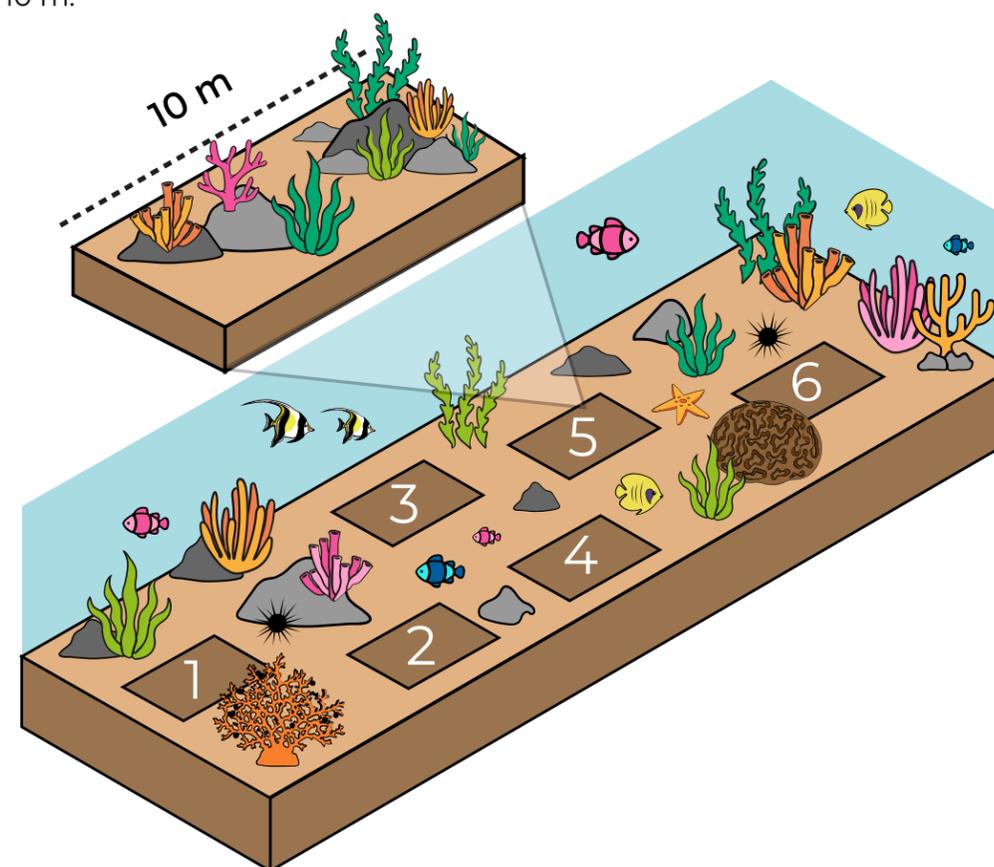


Para medir este protocolo se proponen dos métodos: el método de la cadena y la ecosonda.

Método de la cadena

Puede utilizar los mismos transectos de 10 m utilizados para el monitoreo de corales de los Indicadores 9 al 15 (cobertura de especies de coral al Índice de macroalgas). Utilice cada transecto como guía para la ubicación de una cadena de 3 m de largo.

- 1 Desplegar al azar 6 transectos de 10 m.



Nota: El uso del método de la cadena es invasivo, se recomienda que se priorice el uso de la ecosonda. Sin embargo, de usar el método de la cadena se insta a que sea una cadena ligera y que no genere mayor impacto a las especies arrecifales, ya que son extremadamente sensibles a la perturbación.

2 Utilice como guía para la ubicación de una cadena de 3 m de largo con el fin de medir la complejidad del sustrato.

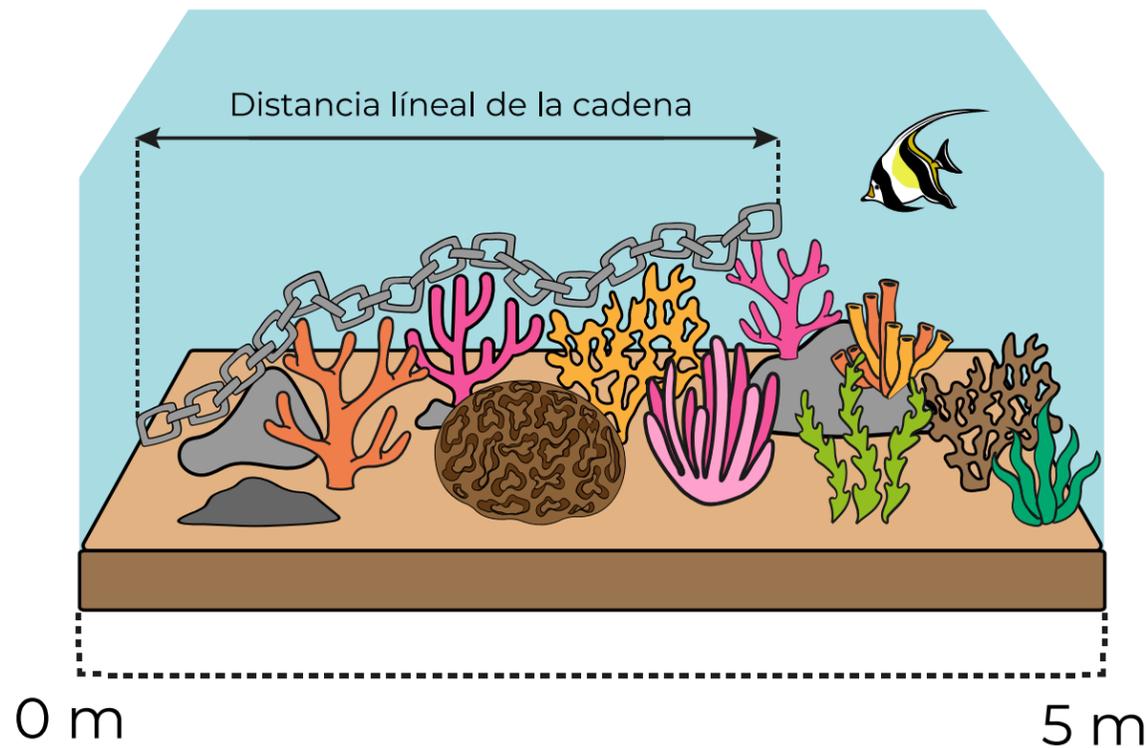
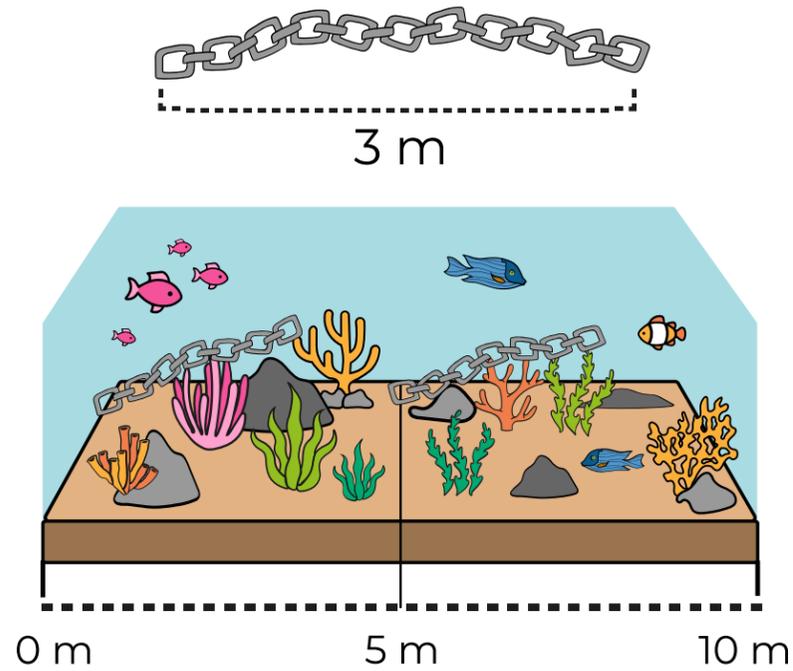
5 Registre datos.

Datos a registrar:

- Distancia contorneada

3 Ubique la cadena en el inicio del transecto y en la mitad del transecto (5 m), siguiendo la dirección de este y ajustándose al contorno detallado del arrecife (corales, esponjas, rocas, grietas).

4 En cada transecto anote la distancia lineal que ocupa la cadena a partir de 0 m y a partir de 5 m.



Ecosonda

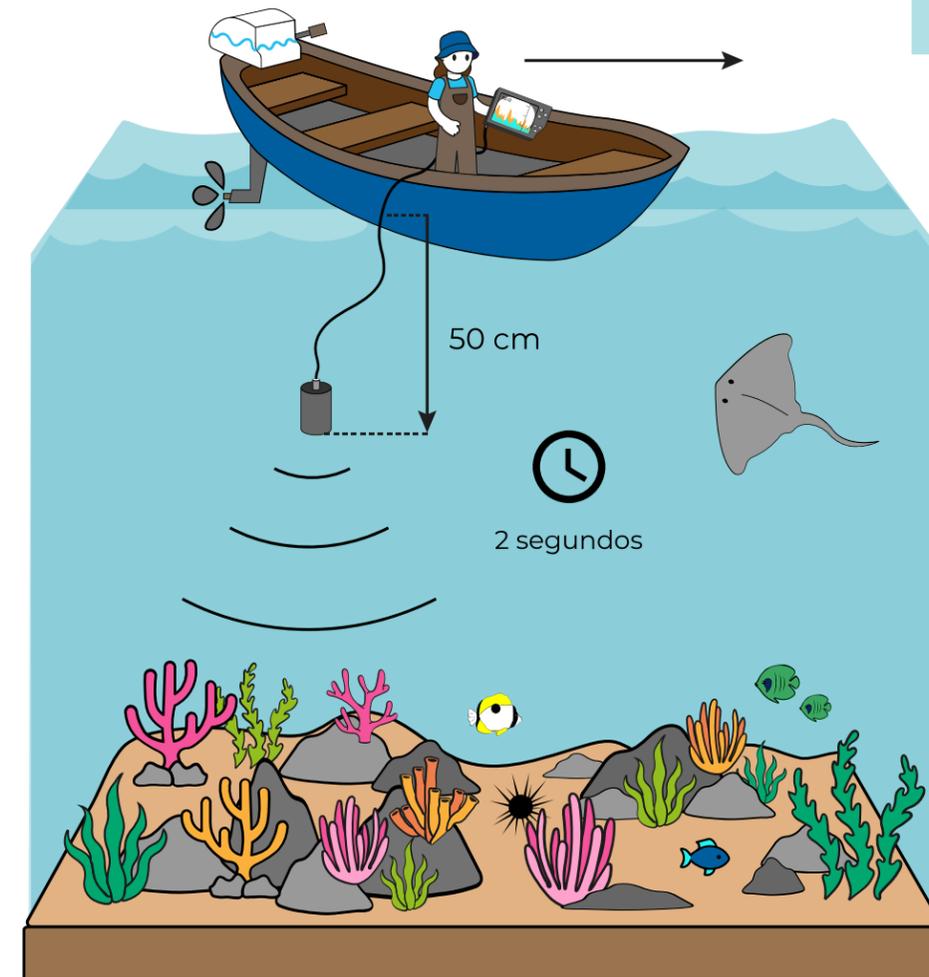
1 Con una ecosonda conectada a un GPS, instalada en una lancha y con el transductor a 50 cm de profundidad para registrar datos cada dos segundos.

2 Realice transectos sobre el área de estudio en los que se registren las tomas de profundidad y ubicación para su futuro procesamiento.

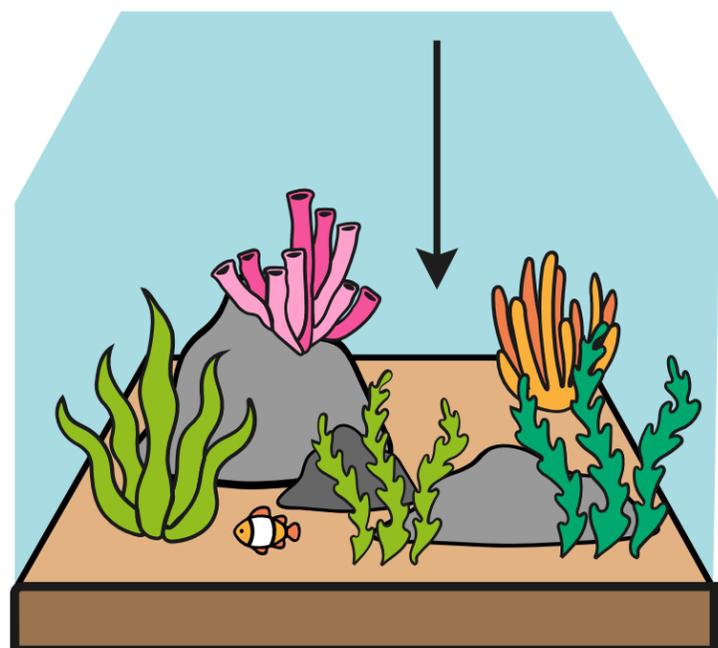
3 Registre datos.

Datos a registrar:

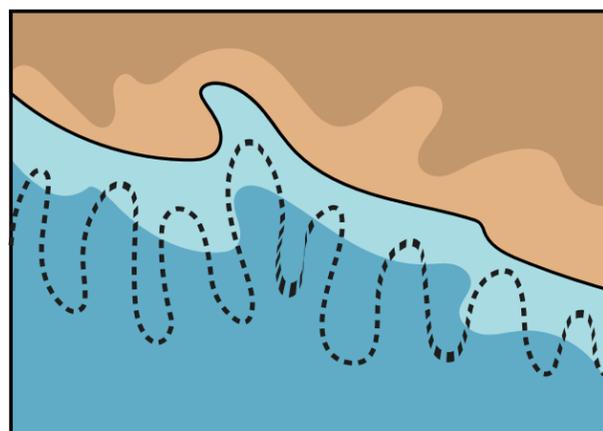
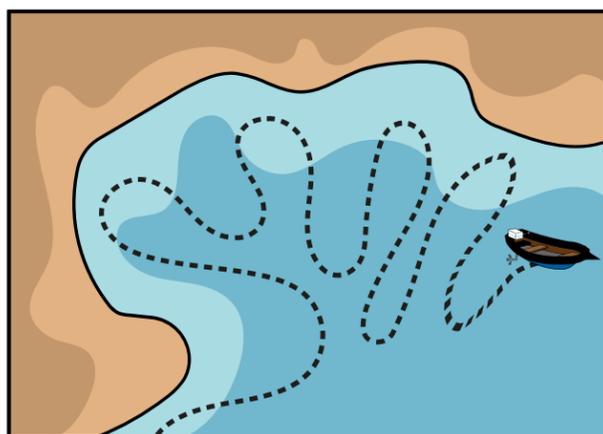
- Rugosidad y profundidad
- Localización



Rugosidad y profundidad



Localización



Basado en:

- Garza-Pérez, J. R. (2011). *Evaluación de comunidades bentónicas arrecifales. Guía de campo y laboratorio*. PAPIME, DGAPA-UNAM.
- Hill, J. y Wilkinson, C. (2004). *Métodos para el monitoreo ecológico de los arrecifes de coral*. Instituto Australiano de Ciencias Marinas.
- Mumby, F., Flower, J., Chollett, I., Box, S. Yves-Marie, B., Fitzsimmons, C., Forster, J., Gill, D., Griffith- Mumby, R., ... y Williams, S. (2014). *Hacia la resiliencia del arrecife y medios de vida sustentables: Un manual para los administradores de arrecifes de coral del Caribe*. Universidad de Exeter.
- Perera-Valderrama, S., Cerdeira-Estrada, S., Martell-Dubois, R., Rosique-de la Cruz, L. O., Caballero-Aragón, H., Ressler, R. (2020). *Protocolos de monitoreo de la biodiversidad marina en áreas naturales protegidas del Caribe mexicano*. CONABIO.
- Rogers, C. S. y Garrison, G. (2001). *Manual para el monitoreo de arrecifes de coral en el Caribe y Atlántico occidental*. Servicio de Parques Nacionales.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2016). Protocolo PRONAMEC: Protocolo para el monitoreo ecológico de las playas arenosas. *Proyecto Consolidación de las Áreas Marinas Protegidas*. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y El Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF). <http://www.sinac.go.cr/ES/docu/ASP/Protocolo-PRONAMEC-PlayaArenosas.pdf>
- Zepeda-Centeno, C., Mariño-Tapia, I., McLeod, E., Rodríguez-Martínez, R., Álvarez-Filip, L.,
- Banaszak, A. T., Escudero-Castillo, M., Silva-Casarín, R., Mendoza-Baldwin, E., Beck, M. y Shaver, E. (2018). Guía de manejo y restauración de arrecifes para mejorar la protección costera: recomendaciones para aplicación global basadas en lecciones aprendidas en México. *The Nature Conservancy*. <https://reefresilience.org/wp-content/uploads/Guia-de-Manejo-y-Restauracion-de-Arrecifes.pdf>

Indicador 17

Número de impactos generados en las áreas naturales protegidas por actividades turísticas

- **Nota:** Se sugiere que se registren los impactos retomando esfuerzos anteriores como los realizados por el área natural protegida y los que se realizan a través de los prestadores de servicios, como es el buceo libre, buceo autónomo, entre otros. En caso de ser posible lleve cinchos, en caso de tener la posibilidad de restaurar algunos fragmentos.

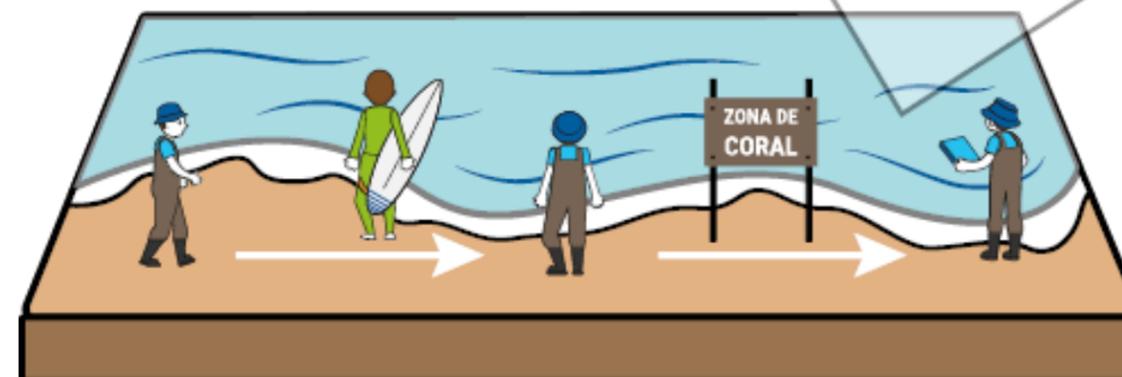
Para medir este indicador se proponen dos métodos: uno mediante recorridos de vigilancia desde la playa y otro de identificación de corales fracturados. Este último se sugiere realizar de forma simultánea a los indicadores de arrecife.

Recorridos de vigilancia desde la playa

Mediante la organización y coordinación entre las autoridades del ANP y los prestadores de servicios turísticos se acordará el llenado de una bitácora, en la cual se registra el número de turistas que realizan actividades acuáticas recreativas en los arrecifes de coral.

Para el registro de impactos:

- 1 Realice recorridos de vigilancia.
- 2 Registre el impacto generado por las actividades turísticas.
- 3 Registre datos.



En caso de registrar corales fracturados

1 En la zona de impacto, determine el área afectada.

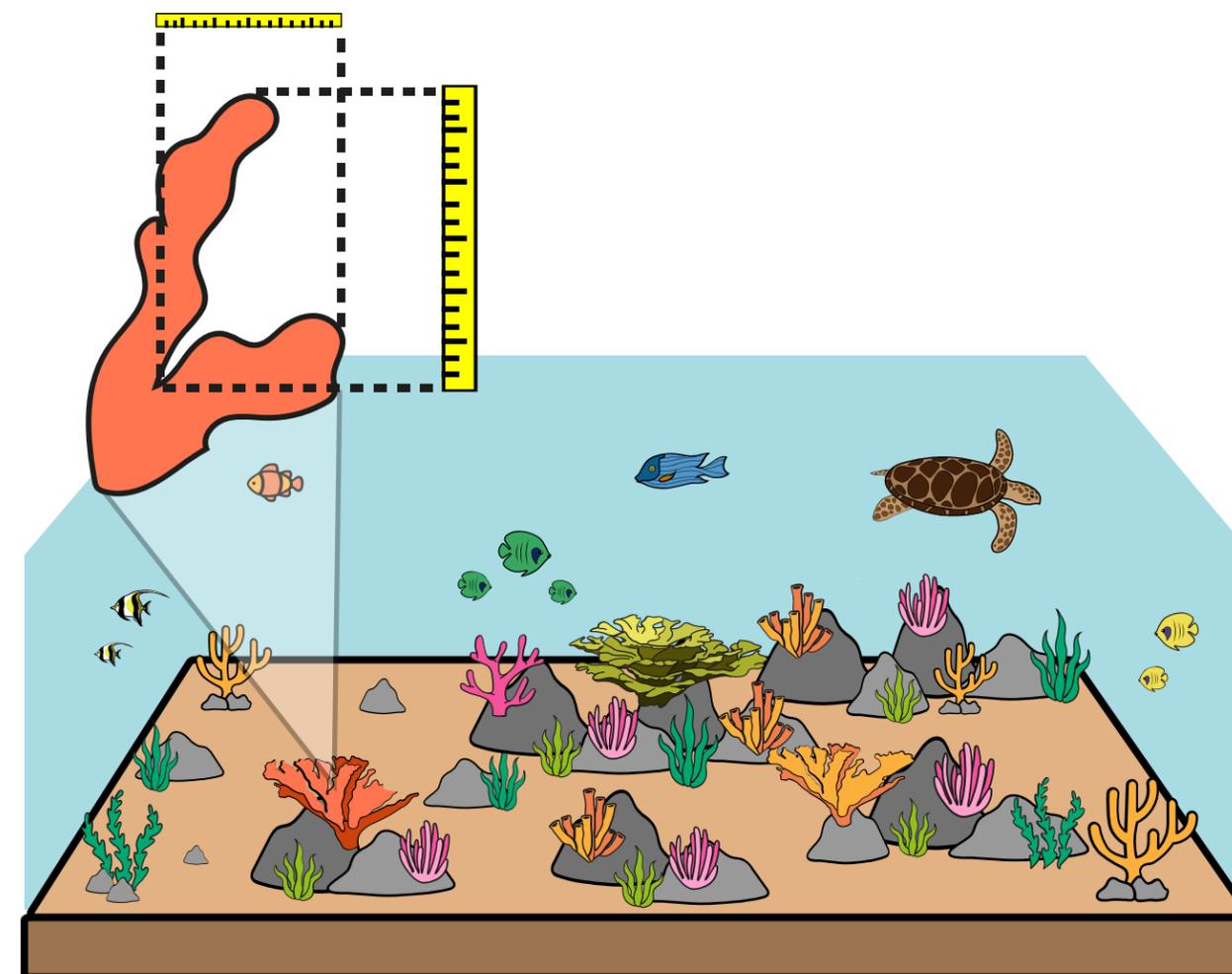
2 Estime el grado de afectación considerando la siguiente tabla:

Grado de afectación	Interpretación
No existen, afectación no perceptible	No se encontraron afectaciones al ecosistema o aun estando presentes el daño no afecta la calidad del ecosistema. La presencia de turistas es mínima
Afectación menor	El número de impactos es mínimo y los efectos negativos causados a los recursos no son permanentes y se pueden recuperar sin intervención del hombre. Existe poca presencia turística
Afectación mediana	Los daños a los recursos no son permanentes, pero sí se requiere de la intervención del hombre para controlar el proceso de degradación. La presencia turística es moderadamente alta
Afectación mayor	Impactos mayores que han afectado los recursos de tal manera que, para su recuperación, son necesarias medidas de restauración durante un tiempo considerable. Existe una alta presencia turística

Fuente: FMCN, CONAFOR, USAID y USFS, 2018

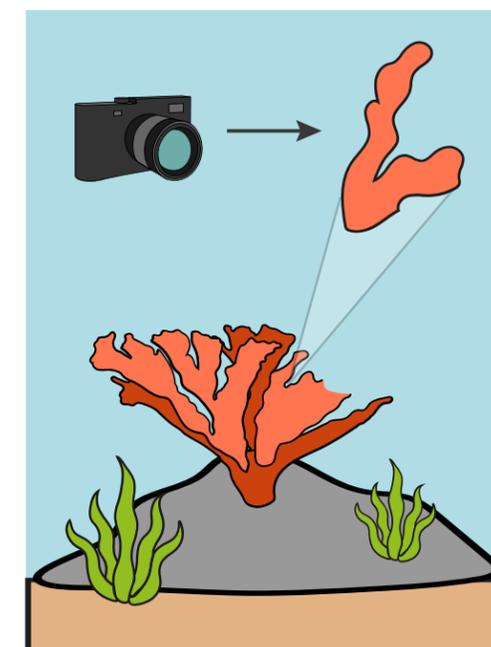
3 Cuente el número de corales fracturados, haciendo énfasis en el coral cuerno de alce.

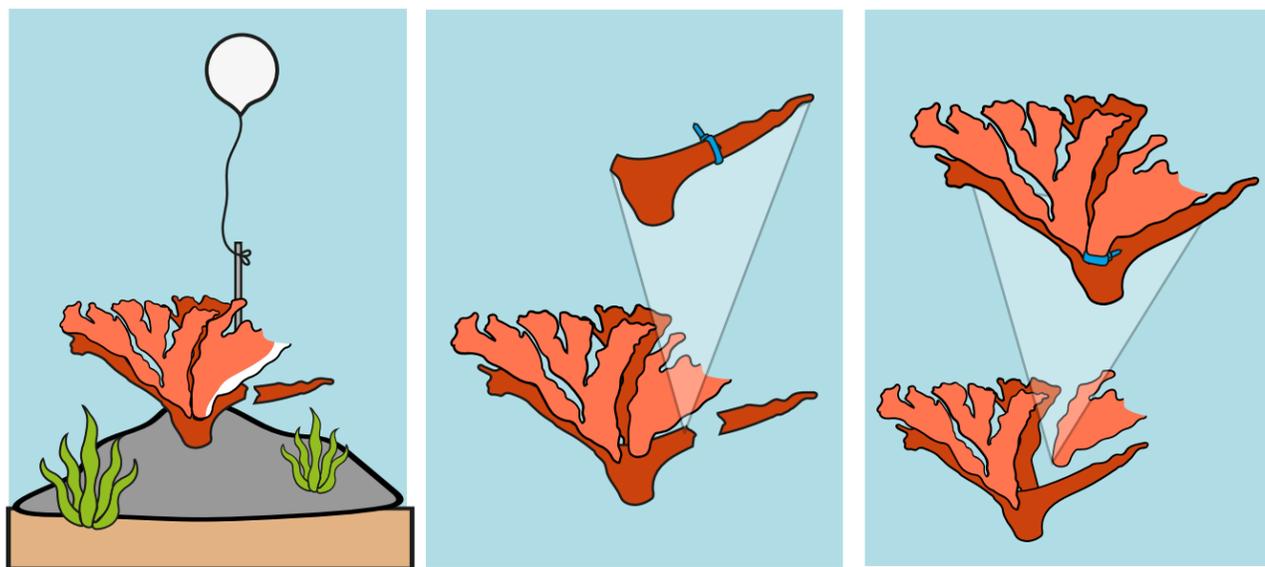
4 En el caso de fragmentos grandes marque con una boya para su posterior restauración.



5 En fragmentos pequeños agrúpelos y marque el sitio para posterior restauración y adherimiento al sustrato.

6 De ser posible, se recomienda tomar fotografías del área afectada para una mejor identificación de los corales fracturados.





Basado en:

- FMCN, CONAFOR, USAID Y USFS (2018). *Manual para muestrear la vegetación en bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas, BIOCOMUNI-Monitoreo Comunitario de la Biodiversidad, una guía para núcleos agrarios*. Comisión Nacional Forestal- Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza.
- Santander-Botello, L. C. y Frejomil, E. P. (2009). Impacto ambiental del turismo de buceo en arrecifes de coral. *Cuadernos de turismo*, 24, 207-227.

7 Registre datos.

Las observaciones mensuales son más efectivas. Si las observaciones se realizan con más frecuencia, a menudo es difícil distinguir las nuevas rupturas de las antiguas, por lo que la misma ruptura puede contarse más de una vez. Si los censos se realizan con menos frecuencia, las rupturas que se produzcan desde la última inspección serán difíciles de ver, ya que las algas crecen rápidamente en áreas recién rotas.

Datos a registrar:

- Transecto
- Coordenadas de los puntos donde se observen impactos derivados de las actividades turísticas
- Número de turistas/días presentes
- Número de impactos/recorrido
- **Tipo de impacto:** residuos sólidos (basura), residuos líquidos (derrames de alguna sustancia), daño en el arrecife, fractura de corales, entre otros
- **Caracterización del impacto:** deberá describir de manera detallada el tipo de impacto observado y de ser posible su extensión o cobertura
- Grado de afectación
- Número de corales afectados
- Observaciones

An underwater photograph of a coral reef. The water is clear and blue. The coral is diverse, with many branching and table corals. Several fish are visible, including a prominent orange and white striped fish in the lower right. The overall scene is vibrant and healthy.

Indicador 18

**Magnitud del daño
en arrecifes de coral
por encallamientos
de embarcaciones y
uso de anclas**

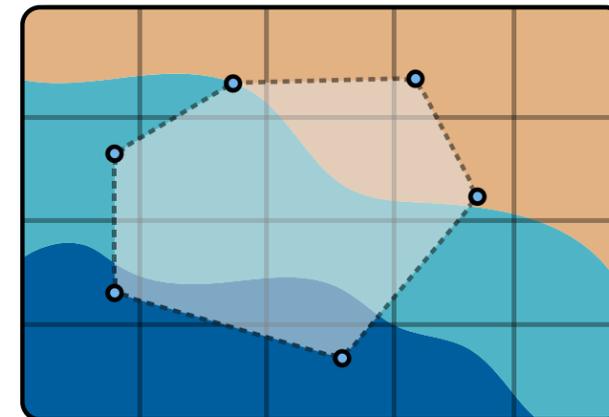


Nota: Se recomienda seguir los procesos administrativos para realizar la evaluación total del daño, otorgar responsabilidades, sanciones y exigir la reparación de acuerdo al protocolo del manual de encallamientos (Nava et al., 2020). El presente indicador sólo se enfocará en evaluar la magnitud del daño. El método propuesto proporciona la información para evaluar la integridad ecosistémica como para el seguimiento administrativo. Asimismo, se recomienda realizar acciones de restauración de los fragmentos y colonias de corales.

En cuanto se reporte por la capitanía de puerto o se detecte directo en el arrecife el evento de encallamiento o daño por ancla:

1 Acuda al sitio.

2 Registre las coordenadas de la embarcación.



3 Si la embarcación es extranjera avise al consulado de la nacionalidad del capitán, al de la bandera del barco y al Instituto Nacional de Migración.

4 Verifique afectaciones secundarias como derramado de aceites, químicos o materia orgánica.



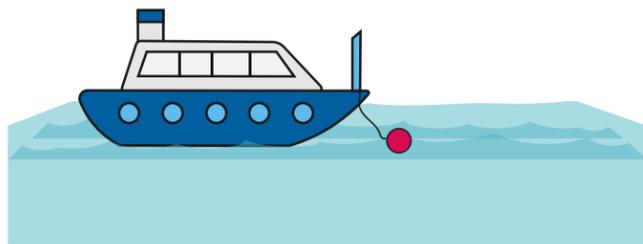
5 Confirme que PROFEPA haya sido llamado al incidente.

6 Se debe verificar que la Capitanía del Puerto reciba el acta de protesta de la embarcación que tuvo el incidente dentro de 24 hrs siguientes al suceso.

7 Registre datos.

Realice una revisión submarina:

- 1 Delimite el perímetro del incidente.
- 2 Registre el polígono con las coordenadas geográficas de cada vértice y delimite con boyas. Coloque la Boya 1 en la proa de la embarcación como punto de referencia del suceso.



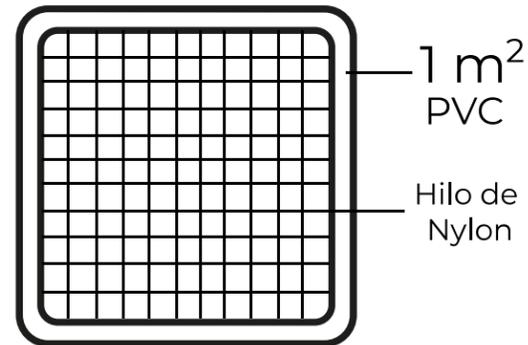
Se recomienda que su elaboración se realice con dos personas (una con equipo de snorkel en la superficie y la otra con SCUBA para el registro submarino) de acuerdo al impacto y profundidad de la zona del incidente. Se recomienda incluir los hábitats y recursos afectados.



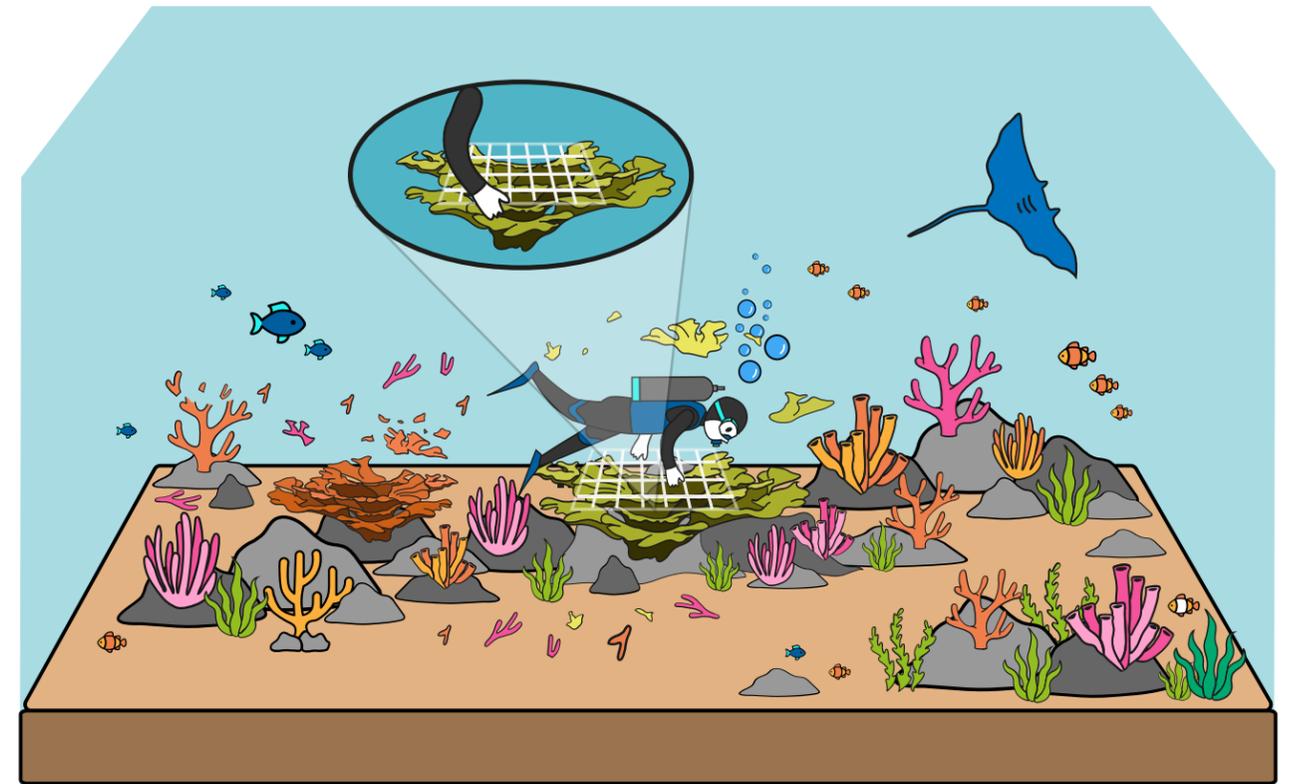
Mientras se elabora el recorrido de construcción del perímetro, registre el daño:

Para la estimación del porcentaje de corales vivos y otros organismos, así como la cantidad de daño se requerirá de cuadrantes de 1 m² de PVC divididos en 100 cuadrados con hilo de nylon, donde cada cuadro representa el 1 % del cuadrante; y cinta métrica o líneas de transecto.

- 1 Ubique una línea de transecto a lo largo del eje de mayor longitud del área dañada.
- 2 Coloque los cuadrantes al azar a lo largo del transecto.

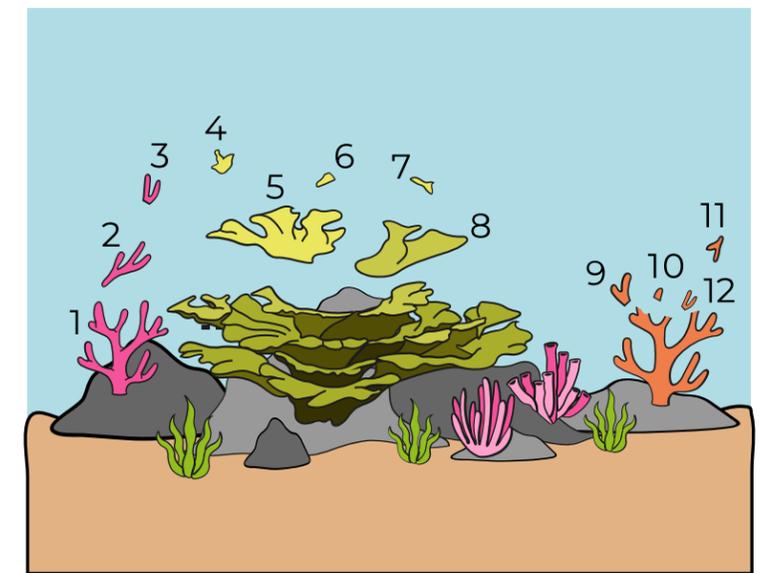


- 3 De igual modo, sitúe cuadrantes al azar en el arrecife no dañado para que pueda estimar cómo era la comunidad de coral en el afectado antes de que ocurriera el daño.



Registre el número de cuadros que presentan daño en el cuadrante y el tipo de daño: abrasión, socavación, pulverización y fragmentación. Si hay fracturas de corales, cuente las muestras debidamente rotuladas. En caso de llevar un proceso administrativo, colecte las muestras y rotule debidamente.

- 4 Si no es posible la utilización de cuadrantes, utilice un área conocida (20 m²) para hacer la contabilización y haga una extrapolación a la zona afectada.
- 5 Elabore un diagrama con el daño y las principales características geomorfológicas, ecológicas y de los impactos físicos visibles e identificables.
- 6 Registre datos.



Datos a registrar:

- Fecha y hora de incidente
- Fecha y hora de elaboración de protocolo
- Coordenadas GPS del polígono del incidente
- Nombre del sitio o arrecife
- Nombre completo de la embarcación y del capitán.
- Nacionalidad del barco y del capitán
- Número de matrícula
- Tipo de embarcación (marca, modelo, color, eslora)
- Observaciones generales de la embarcación (cualquier otra característica que pueda contribuir a su identificación)
- Zona (núcleo, amortiguamiento, etc) del ANP se localizó el encallamiento
- Daños secundarios como derramado de aceites, químicos o materia orgánica
- En zona dañada, número de cuadrante con su porcentaje de daño y profundidad
- Especies dañadas, diámetro, condición de protección y descripción de daño
- Número de fragmentos
- En zona control, número de cuadrante con su porcentaje de daño y profundidad
- Especies dañadas, diámetro, condición de protección y descripción de daño
- Registro fotográfico de daños particulares con coordenadas GPS y escala
- Diagrama de las principales características geomorfológicas, ecológicas y de los impactos físicos visibles e identificables. Debe contener autor y miembros de apoyo, flecha (Norte) de dirección del diagrama

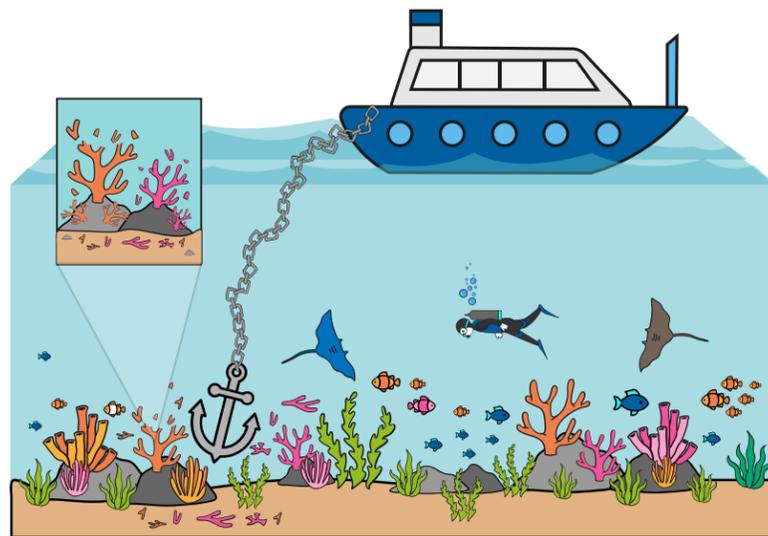
Basado en:

- Batista-Morales, A. y D. Gómez. 2010. *Indicadores del estado de conservación de los ecosistemas marino-costeros de Colombia*. 173-210. En: Invermar (Ed.). Informe del Estado de los Ambientes y Recursos Marinos y Costeros en Colombia: Año 2009. Serie Publicaciones Periódicas del Invermar No. 8, Santa Marta.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2009). *Manual coordinado de procedimientos ambientales, administrativos y legales para la atención inmediata a los arrecifes por encallamientos*. Gobierno Federal, SEMARNAT, SEMAR, SCT, PGR. México.
- García-Rivas, M., Hadad-Lopez, W., Gómez-Poot, J., Roldán-Serralde, R., y Vega-Zepeda, A. (2012). *Prevención y Manejo de Encallamientos de Embarcaciones en el Parque Nacional Arrecifes de Xcalak, México: Una Respuesta Temprana para Lograr el Éxito*.
- Nava Martínez G., García Salgado M., Alva Basurto C., Zepeda Centeno C., González Gonzalez A. 2020. Manual de procedimientos para la atención a encallamientos en los arrecifes de coral. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Proyecto Resiliencia PNUD, *The Nature Conservancy*.

En daño por anclas, agregue el dato de longitud de la cadena que descansa en el fondo y el tipo de ancla.

Se recomienda marcar el sitio con daños en el arrecife para posteriormente implementar acciones de rescate y restauración.

En el caso de daños con ancla, no se registran usualmente no son reportados por los prestadores de servicios. Para ello se recomienda apoyarse de la bitácora elaborada en el indicador 18 e incluir: "cuántos y cuáles prestadores de servicios visitaron tal o cual arrecife". Con la finalidad de que en visitas de vigilancia al azar del arrecife, se pueda identificar el daño, el tiempo aproximado del incidente y quiénes pudieron ocasionarlo, involucrándolos en acciones de compensación.



An underwater photograph of a coral reef. The scene is dominated by various types of coral, including branching and table corals, in shades of brown and tan. The water is clear and blue, with some small fish visible in the background. The overall lighting is soft and natural, typical of an underwater environment.

Hojas de registro para el monitoreo
de indicadores de los ecosistemas
arrecifes de coral

Diagrama de registro

Recuerde incluir: principales características geomorfológicas, ecológicas y de los impactos físicos visibles e identificables		Autores de diagrama (autor diagrama y miembros de apoyo)	Código de incidente
	(Marcar el norte)		

Recomendaciones

Para el uso de este protocolo se extienden las siguientes recomendaciones:

- 1 Al realizar actividades de snorkel y buceo, se deberá seguir las normas de seguridad avaladas por La Confederación Mundial de Actividades Subacuáticas (C.M.A.S) Zona América y La Federación Mexicana de Actividades Subacuáticas (FMAS); además de las medidas de seguridad para la conservación del arrecife sugeridas por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés).
- 2 No coleccionar a menos que sea extremadamente necesario.
- 3 Para realizar las colectas/capturas se requieren los permisos vigentes necesarios.
- 4 Al utilizar herramientas como cadenas o cintas encima del arrecife, tener extremo cuidado de no dañar las estructuras ni a los organismos.
- 5 Es importante mantener el esfuerzo de muestreo en los sitios; para ello se deben identificar y localizar de forma precisa, para continuar con su monitoreo entre uno y otro año, para observar tendencias.
- 6 Se debe realizar una sectorización previa del ANP para selección de los sitios de muestreo representativos.
- 7 Adquirir guías de identificación existentes para el área o la región, o la elaborar guías a partir de los listados de especies e imágenes que puedan obtenerse en campo, internet, entre otras fuentes.
- 8 En caso de no poder identificar, tomar la mayor cantidad de fotos para una identificación posterior.
- 9 En los eventos de encallamiento y daño por anclas se recomienda seguir el proceso administrativo para realizar la evaluación total del daño, otorgar responsabilidades, sanciones y exigir la reparación de acuerdo al protocolo del manual de encallamientos (Nava et al., 2020).

Agradecimientos

Agradecemos la participación de las personas que contribuyeron al enriquecimiento y elaboración del protocolo de arrecifes de coral:

- Aglaen Lucero Carbajal Navarro
- Amantina Lavalle
- Brigitta van Tussebroek
- Carlos Domínguez Rodríguez
- Carlos Ramón Godínez Reyes
- Carlos Zermeño
- Claudia Ameyalli Nares Vázquez
- Christian Alva Basurto
- Daniel Guevara Aguirre
- Denisse Ángeles Solís
- Edmundo Aguilar López
- Elva Ivonne Bustamante Moreno
- Ignacio J. March Mifsut
- Irving Leonardo Chávez E.
- Jezahel Miranda Zacarías
- Jorge Brambila Navarrete
- José Antonio Machado Arias
- José Carlos Pizaña Soto
- Lidia Granados Bárcenas
- Lorenzo Álvarez Filip
- Maira Abigail Ortíz Cordero
- María del Carmen G. Rivas
- Norma Angélica Figueroa S.
- Yadira Gómez Hernández

Se agradece el apoyo de la **Colección de Fotocolectas Biológicas, del Instituto de Biología de la UNAM**, por la revisión del contenido, el desarrollo de las ilustraciones y diseño del material a través del apoyo del servicio social. Así como a las instituciones participantes: **CONANP, CONABIO, UNAM-CMARL, UNAM-ICML, PNUD, FMCN Y GIZ.**

