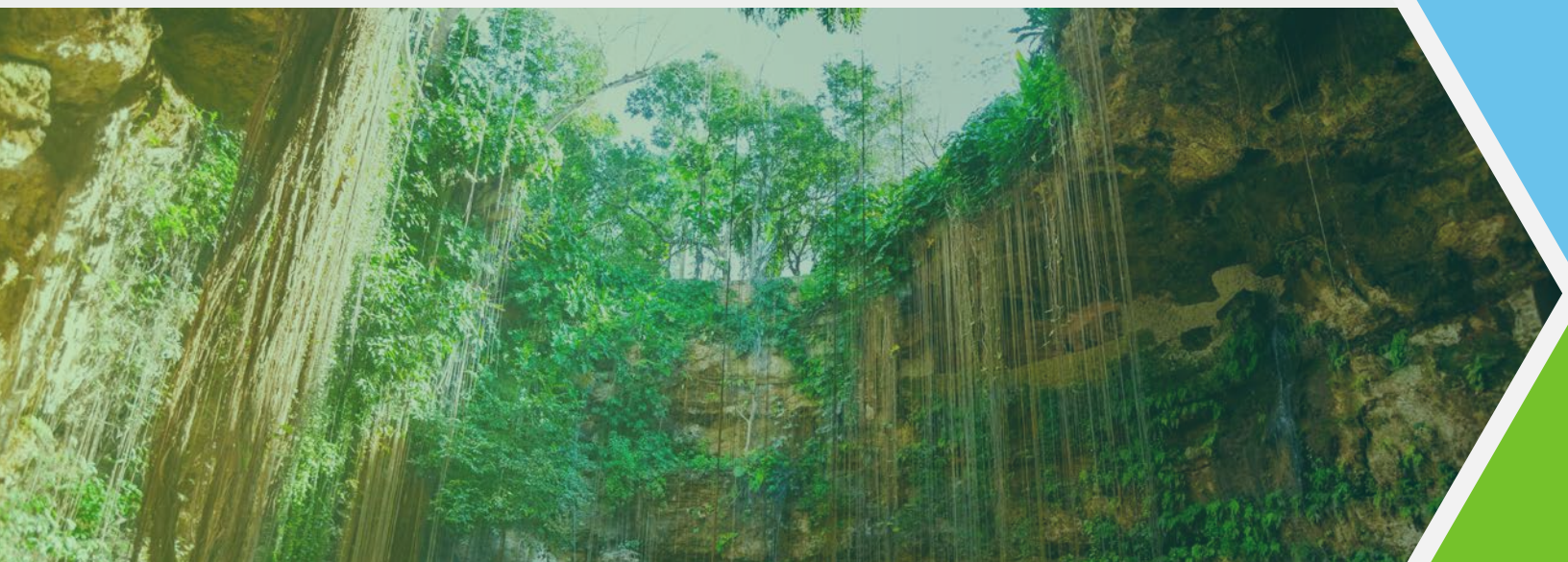


Protocolo para el
monitoreo ecosistémico de
aguas subterráneas
(acuíferos y cenotes)
en Áreas Naturales Protegidas



México, 2022

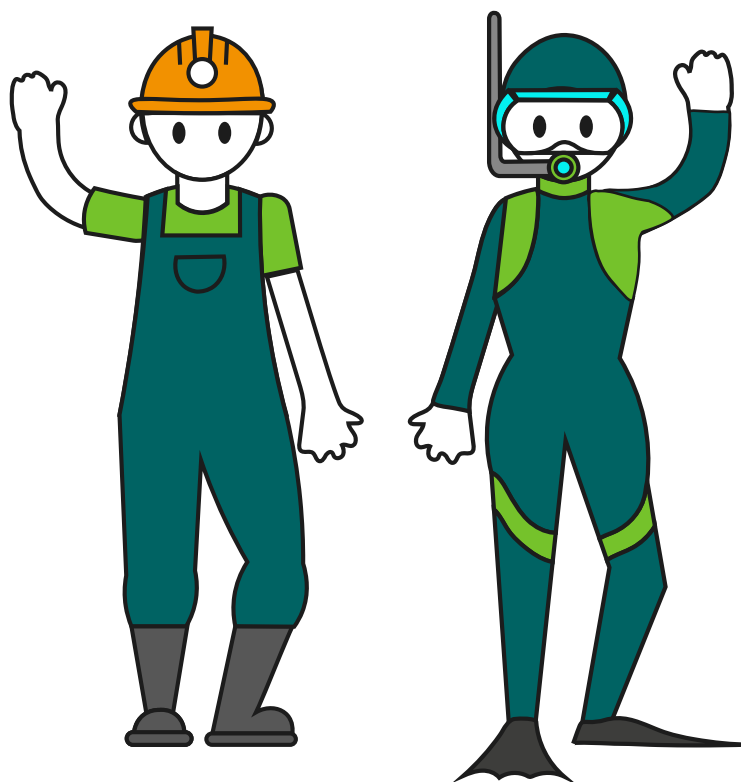
Francisco Javier Botello López
Catalina Vázquez Camacho
Fernando Mayani Parás
Marisol Eliut Vega Orihuela
Sharon Patricia Morales Díaz



FONDO MEXICANO
PARA LA CONSERVACIÓN
DE LA NATURALEZA, A.C.
INSTITUCIÓN PRIVADA



Protocolo para el
monitoreo ecosistémico de
aguas subterráneas
(acuíferos y cenotes)
en Áreas Naturales Protegidas



México, 2022

Primera edición digital: 17 de octubre del 2022

Revisión final: Claire Pérez Lemus y Francisco Javier Botello López

Fotografías: “Cenote Cuzama, Yucatán, México” [fotografía], por Florian Augustin, ID: 677011351, Shutterstock.com (<https://www.shutterstock.com/es>)

Diseño e ilustraciones:

Claire Pérez Lemus
claire.pl1999@gmail.com

Mariana Inurrigarro Nevarez
madamedestler@gmail.com

Iraís Gayoso Gutiérrez
iraisgayoso@gmail.com

Joan Sebastian Tapia Sanchez
joan.tapia.mx@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-Díaz, S. (2022). *Protocolo para el monitoreo ecosistémico de aguas subterráneas (acuíferos y cenotes) en áreas naturales protegidas*. Instituto de Biología, UNAM, 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

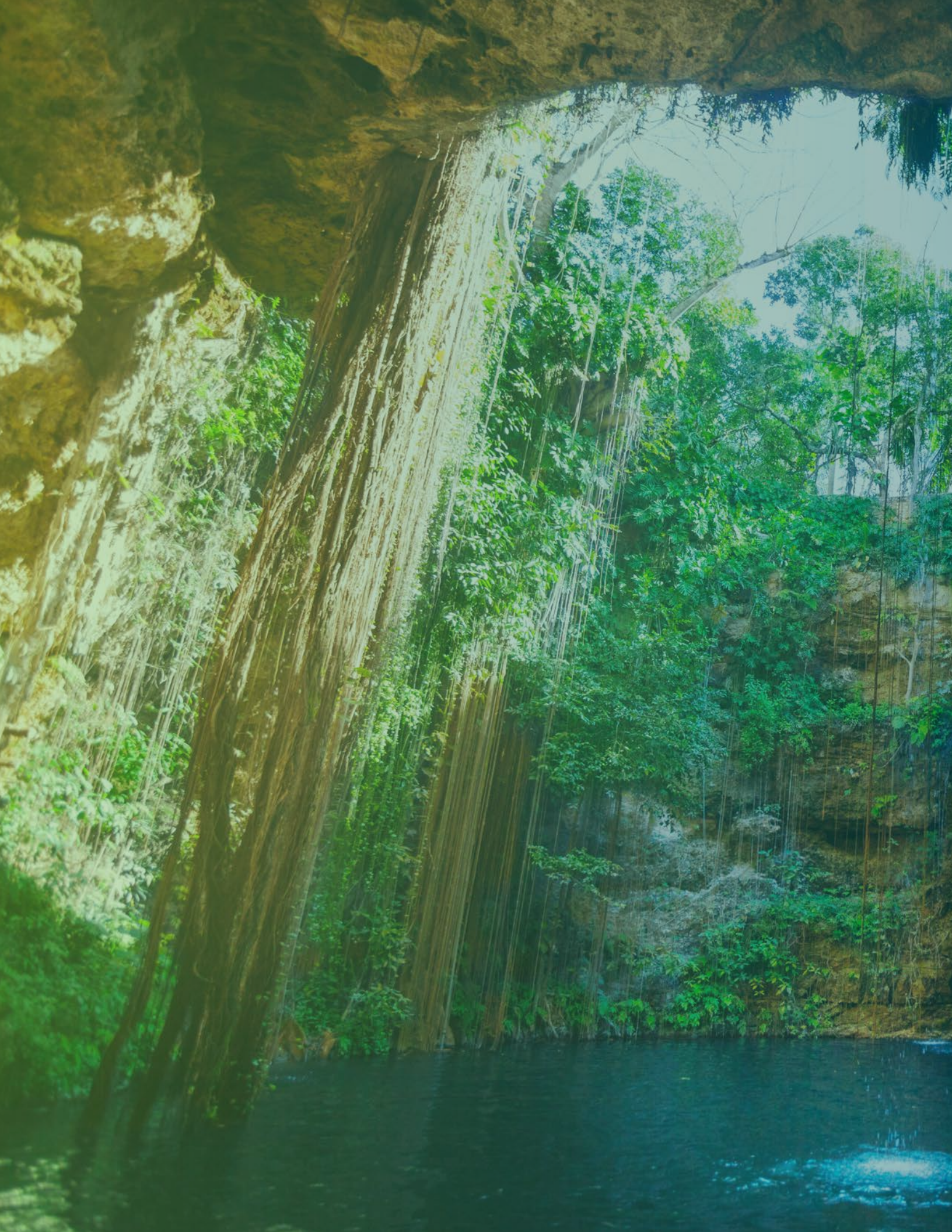
Prohibida la reproducción parcial o total por cualquier medio sin autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales

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
aguas subterráneas
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	108
Indicador 2 🚗	
Estado trófico de los cuerpos de agua	21
Clorofila <i>a</i>	23
Nutrientes	24
Evaluación del estado trófico estuarino (modelo Assessment of Estuarine Trophic Status)	25
Hoja de registro	109
Indicador 3 🌿	
*Composición de la vegetación circundante	27
Área de vegetación reducida	29
Área de vegetación aledaña amplia	30
Hojas de registro	
Vegetación reducida	110
Vegetación aledaña	111
Indicador 4 🌱	
*Composición de la vegetación emergente, flotante y sumergida	33
Cuerpos de agua no profundos	35
I. Especies de pecton	36
II. Especies de plocon y especies flotantes	36





Cuerpos de agua de difícil acceso	37
Hoja de registro	112

Indicador 5

Composición de plancton	41
Muestreo con red por arrastre	43
Muestreo con red a profundidad	45
Muestreo con botella Van Dorn	46
Hoja de registro	113

Indicador 6

Composición de comunidad de invertebrados	49
Colecta de sedimento	51
Red	52
Hoja de registro	114

Indicador 7

*Comunidad de peces	55
Uso de redes	57
Uso de trampas	58
Hoja de registro	115

Indicador 8

Diversidad de anfibios y reptiles	61
Trampas nasa	64
Captura directa	65
Hojas de registro	
Trampas nasa	116
Censo por área	117

Indicador 9

*Presencia de aves acuáticas	69
Hoja de registro	118



Indicador 10 🐾

*Presencia de mamíferos asociados a cenotes	73
Registro de murciélagos	75
Detector ultrasónico	77
Muestreo de rastros	78
Fototrampeo	80
Hojas de registro	
Murciélagos	119
Muestreo de rastros	120
Fototrampeo	121

Indicador 11 🐟

*Proporción de especies exóticas-invasoras de alto impacto	83
Hoja de registro	122

Indicador 12 🚚

*Riesgo de degradación de cenotes	87
Índice de riesgo de degradación de cenotes	89
Uso de imágenes o fotografías satelitales	92
Hoja de registro	123
Imágenes o fotografías satelitales	124

Indicador 13 💀

Número de cenotes que han sido rellenados para la construcción de edificaciones	95
Atención y revisión de denuncias	97
Recorridos en campo	97
Hoja de registro	125

Indicador 14 🧤

*Presencia de contaminantes	99
-----------------------------	-----------



Basura	101
Coliformes	102
Plaguicidas	103
Hidrocarburos	104
Hoja de registro	126

Recomendaciones	127
------------------------	------------

Agradecimientos	129
------------------------	------------

Introducción

El siguiente protocolo de aguas subterráneas (acuíferos y cenotes) 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 Parrish *et al.*, (2003)

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.

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

Basado en:

- Carrillo-García, D. (2018). *Indicadores para monitorear la integridad ecológica de los arrecifes de coral: el caso del caribe mexicano*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Herrera, B., y Corrales, L. (2004). *Manual para la evaluación y monitoreo de la integridad ecológica en áreas protegidas*. PROARCA/APM.
- 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. Reporte de Consultoría. México, D. F.
- 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 fundamentales de los ecosistemas	Indicador	Tipo de muestreo	Equipo necesario	Frecuencia de monitoreo
Función	1. *Parámetros físicoquímicos del agua	Monitoreo y observacional	GPS, formatos de registro impresos, sonda multiparamétrica, si no se tiene entonces sensor permanente 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
Estructura	2. Estado trófico de los cuerpos de agua	Medición y análisis	GPS, formatos de registro impresos, botella Van Dorn, botella Niskin, solución de $MgCO_3$, filtros de membrana de 0.45 micras de apertura de poro, gel de sílice, tubos de polipropileno de 15 ml, espectrofotómetro, acetona al 90 % y filtros Whatman de grado 41:20 μm	Tres veces al año: temporada de secas (marzo-mayo), de lluvias (junio-octubre) y nortes (noviembre-febrero)
Composición	3. *Composición de la vegetación circundante	Unidades de muestreo y censo	GPS, formatos de registro impresos, cinta métrica, flexómetro, clinómetro, longímetro y rafia para delimitar los cuadrantes	
	4. *Composición de la vegetación emergente, flotante y sumergida	Colecta de sustrato	GPS, formatos de registro impresos, equipo snorkel o buceo SCUBA, espátula, recipiente de plástico, formaldehído	
	5. Composición de flora microscópica (algas del fitoplancton, bentos y perifiton)	Muestreos	GPS, , formatos de registro impresos, botella Van Dorn, solución de lugol neutralizada con acetato de sodio, frascos de vidrio ámbar	
	6. Composición de comunidad de invertebrados	Muestreos	GPS, formatos de registro impresos, tubos Falcon de 50 ml, etanol al 70 %, hielo	
	7. *Comunidad de peces	Uso de redes y/o trampas	GPS, formatos de registro impresos, red de luz de malla de 0.5 cm, baldes y trampas para peces	
	8. Presencia de anfibios y reptiles	Trampas nasa y censo por área	GPS, formatos de registro impresos, trampas nasa y red con cabo de madera o metal	
	9. *Presencia de aves acuáticas	Censo por área	GPS, formatos de registro impresos, binoculares, cronómetro, guía de campo, cinta métrica, cinta de plástico o listones y plumón	

Nota: debido a que el objetivo de este protocolo es realizar un muestreo estandarizado, es importante que el esfuerzo de muestreo se mantenga para el caso particular de cada indicador. Además, el indicador de Proporción de especies exóticas-invasoras de alto impacto, se monitoreará simultáneamente, es decir, al estar efectuando el monitoreo de otros indicadores podrá detectar al mismo tiempo especies exóticas-invasoras.

A photograph of a cave interior. On the left, a large, dense cluster of thin, light-colored stalactites hangs from the ceiling. The cave walls are covered in green moss and small plants. At the bottom, a pool of dark water reflects the surrounding environment. The text is overlaid on the upper left portion of the image.

Indicador 1

***Parámetros fisicoquímicos del agua**



Los parámetros fisicoquímicos que se miden son: la temperatura, oxígeno disuelto, pH, salinidad, y transparencia del agua (coeficiente de atenuación de luz). Sólo el último parámetro se mide con un disco de Secchi, el resto de los parámetros se miden con una sonda multiparamétrica o sondas específicas para cada parámetro. Las mediciones deberán hacerse al menos en cuatro puntos del cuerpo del agua.

Nota: es importante mencionar que antes de realizar las lecturas de los parámetros, la sonda o los sensores utilizados sean 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 o sondas específicas para cada parámetro hasta una profundidad cercana al fondo:

- 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:

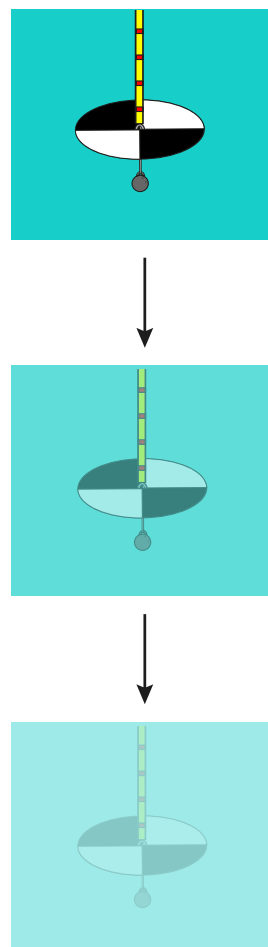
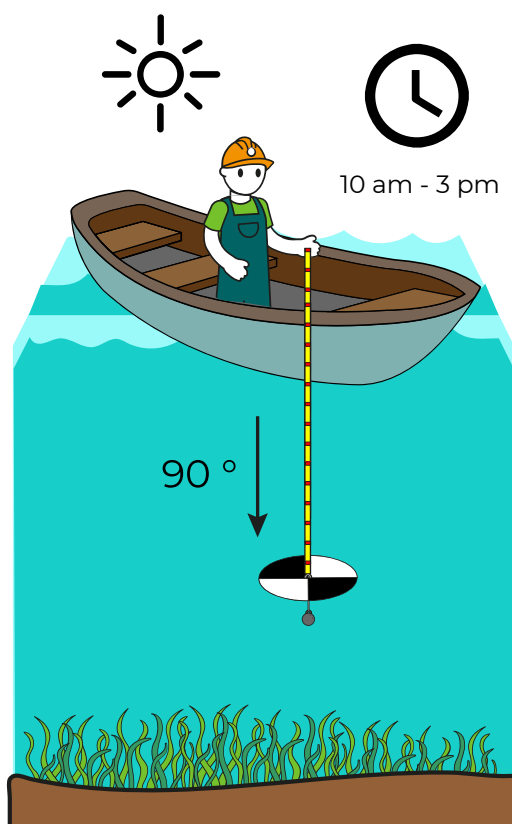
1 Utilice un disco de Secchi que estará
unido a una cuerda metrada.

2 Desde la embarcación (si el lugar lo
permite) o desde la orilla, en la parte
soleada y con oleaje bajo, entre las
10:00 am y las 3:00 pm, deje bajar
lentamente el disco de Secchi a 90°
hasta que ya no sea perceptible.

3 Registre datos.

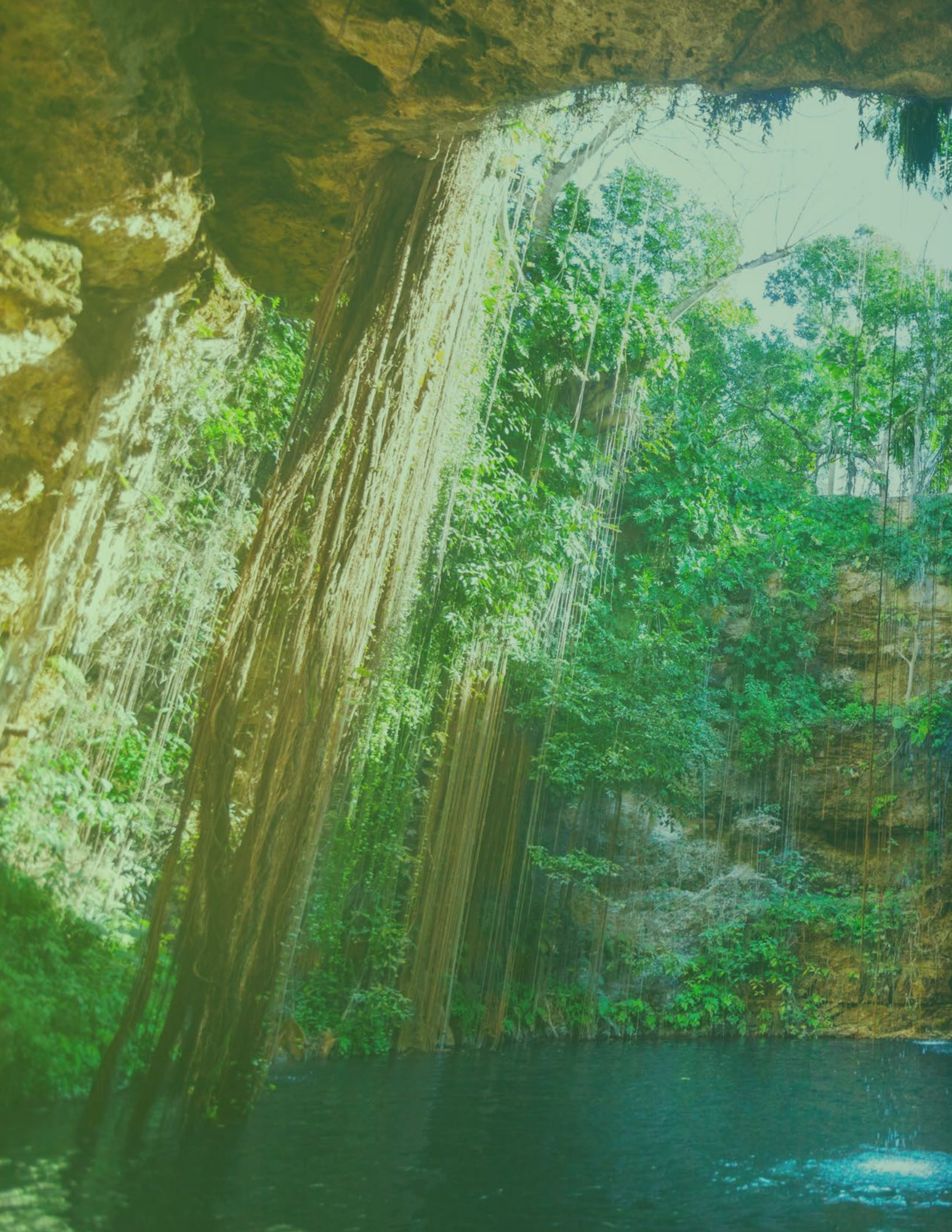
Datos a registrar:

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



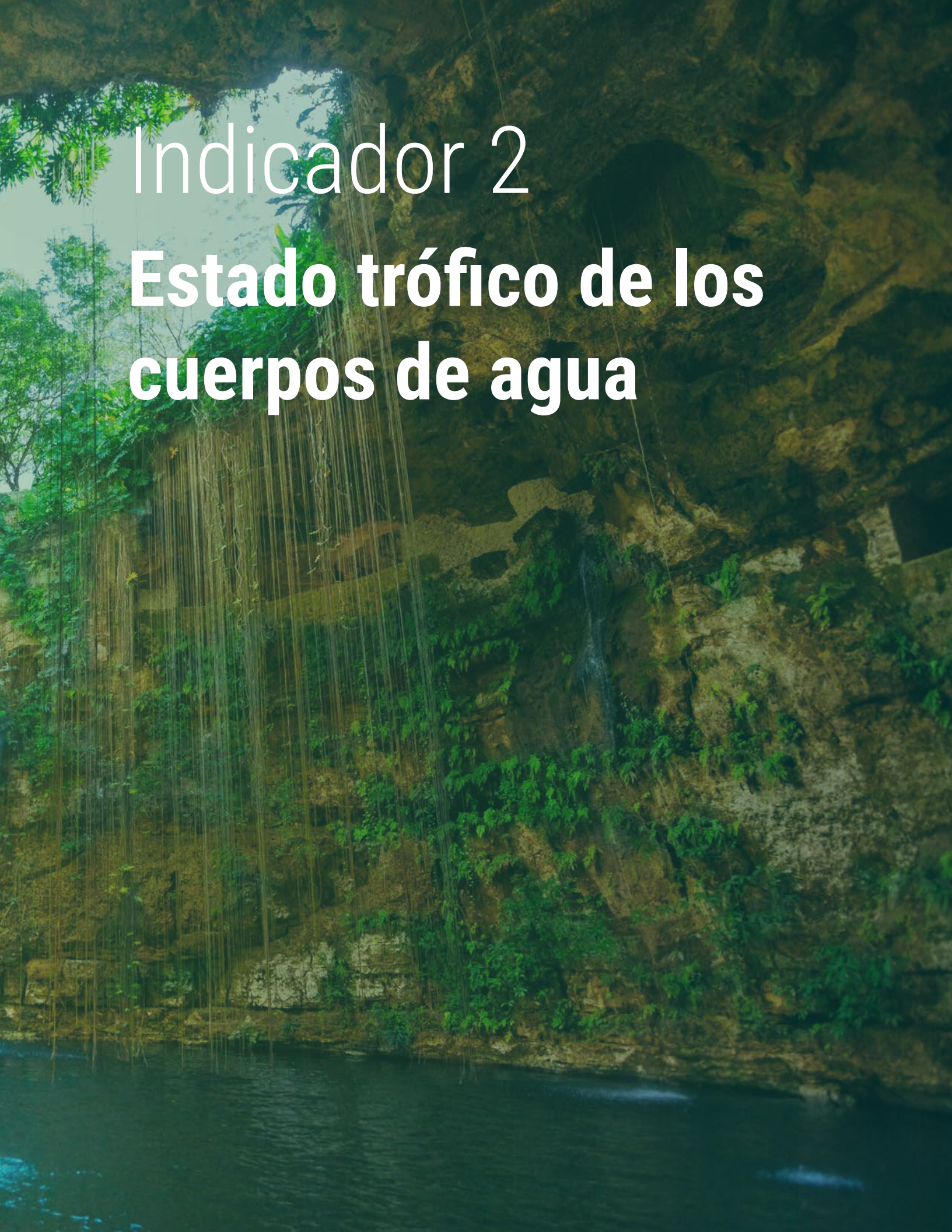
Basado en:

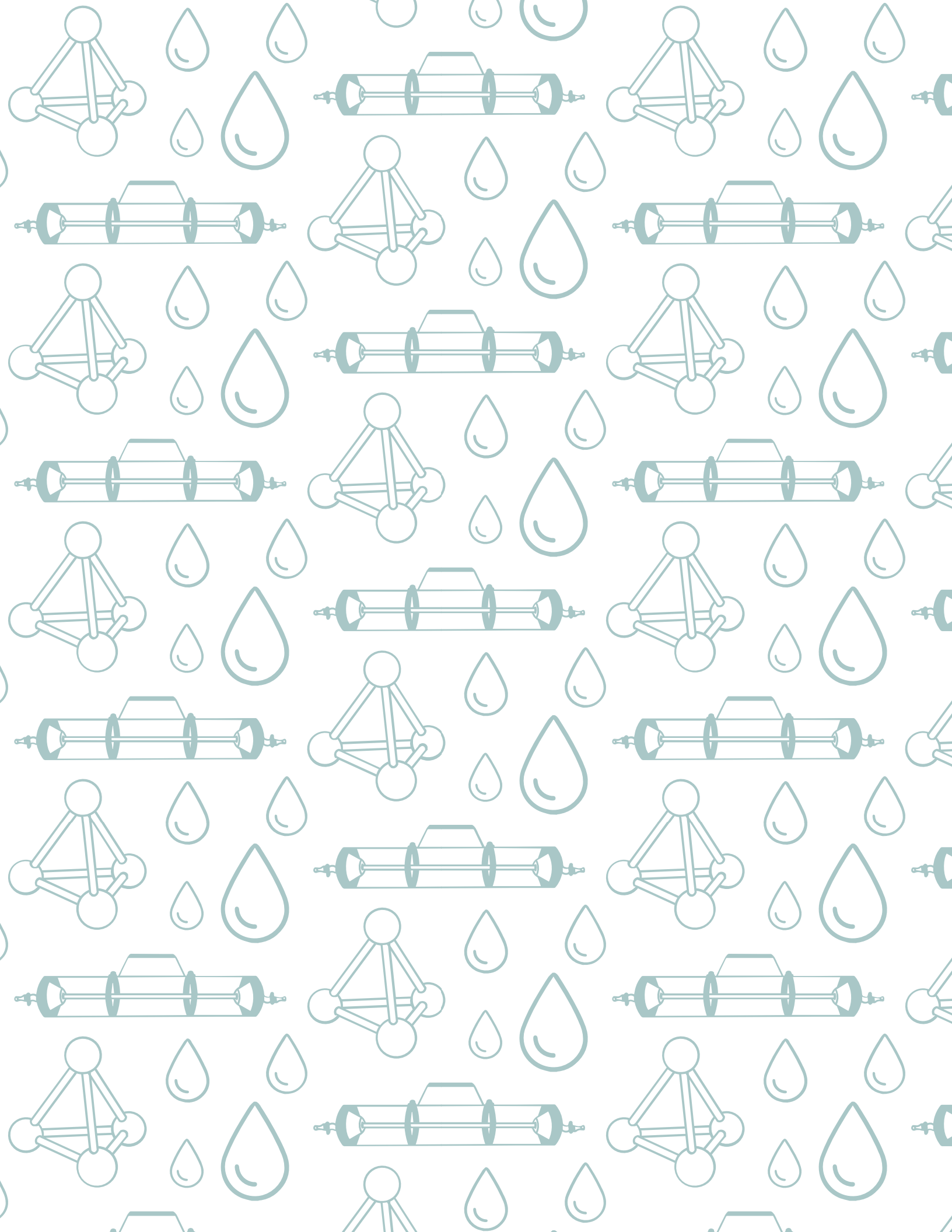
- Bartram, J. y Ballance (1996). *Water quality monitoring. A practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes*. First Edition. UNEP/WHO. Printed by Chapman and Hall.
- Bates, R. G., Roy, R. N., y Robinson, R. A. (1973). Buffer standards of tris (hydroxymethyl) methylglycine (Tricine) for the physiological range pH 7.2 to 8.5. *Analytical chemistry*, 45(9), 1663-1666.
- Beitinger, T. L., Bennett, W. A., and Mc Cauley, R. W. (2000). Temperature tolerances of North American freshwater fishes exposed to dynamic changes in temperature. *Environmental biology of fishes*, 58(3), 237-275.
- Congdon, V. M., Dunton, K. H., Brenner, J., Goodin, K. L. and Ames, K. W. (2018) *Ecological Resilience Indicators for Seagrass Ecosystems*. En *Ecological Resilience Indicators for Five Northern Gulf of Mexico Ecosystems*. https://www.natureserve.org/sites/default/files/projects/files/ecological_resilience_indicators_for_five_northern_gulf_of_mexico_ecosystems.pdf
- Díaz, R. J.; Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321, no 5891, 926-929.
- Guerrero-Meseguer, L., Cox, T. E., Sanz-Lázaro, C., Schmid, S., Enzor, L. A., Major, K., ... and Cebrián, J. (2020). Does ocean acidification benefit seagrasses in a mesohaline environment? A mesocosm experiment in the northern Gulf of Mexico. *Estuaries and Coasts*, 43(6), 1377-1393.
- Lessard, J. L. (2006). Habitat Assessment and Physicochemical Parameters. En J. E. Flotemersch, J. B. Stribling y M. Paul (eds.) *Concepts and Approaches for the Bioassessment of Nonwadeable Streams and Rivers*. U.S. Environmental Protection Agency.
- Repolho, T., Duarte, B., Dionísio, G., Paula, J. R., Lopes, A. R., Rosa, I. C., Grilo, T. F., Caçador, I., Calado, R. y Rosa, R. (2017). Seagrass ecophysiological performance under ocean warming and acidification. *Scientific Reports* 7: 41443.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación) (2013). *Propuesta de Indicadores para el Programa de Monitoreo Ecológico en el Ámbito de Ecosistemas de Aguas Continentales*. <https://canjeporbosques.org/wp-content/uploads/2017/07/Informe-Final-1.pdf>



Indicador 2

Estado trófico de los cuerpos de agua



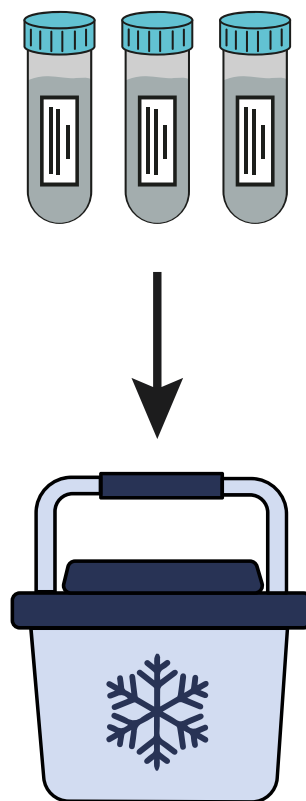
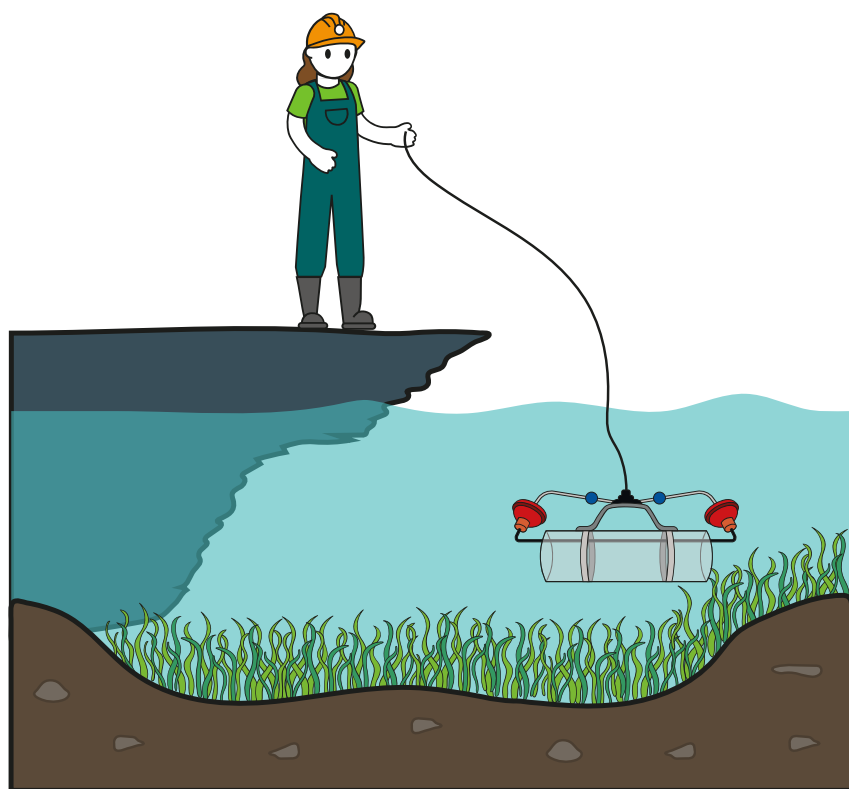


Es importante mencionar que para llevar a cabo el análisis del estado trófico de los cuerpos de agua será necesario apoyarse de un laboratorio que cuente con el equipo y la experiencia requerida, por lo que se recomienda la identificación previa del laboratorio local o foráneo en la que se realizará el procesamiento de las muestras.

- **Nota:** para llevar a cabo esta evaluación es necesario que cuente con
- los valores de oxígeno disuelto. Además de estos parámetros, deberá
- medir la concentración de clorofila a y de los siguientes nutrientes:
- ortofosfatos, fósforo total, nitrato, amonio, nitrito y nitrógeno total.

Clorofila a

- 1 Con ayuda de una botella Van Dorn tome muestras representativas de agua de 0.5 a 2 L en distintos puntos de la superficie y niveles de profundidad.
- 2 Posteriormente, mantenga las muestras de agua en frío hasta el momento en el que se realice el filtrado.
- 3 Registre datos (página 25).



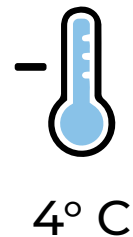
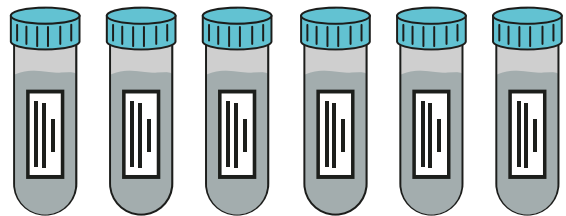
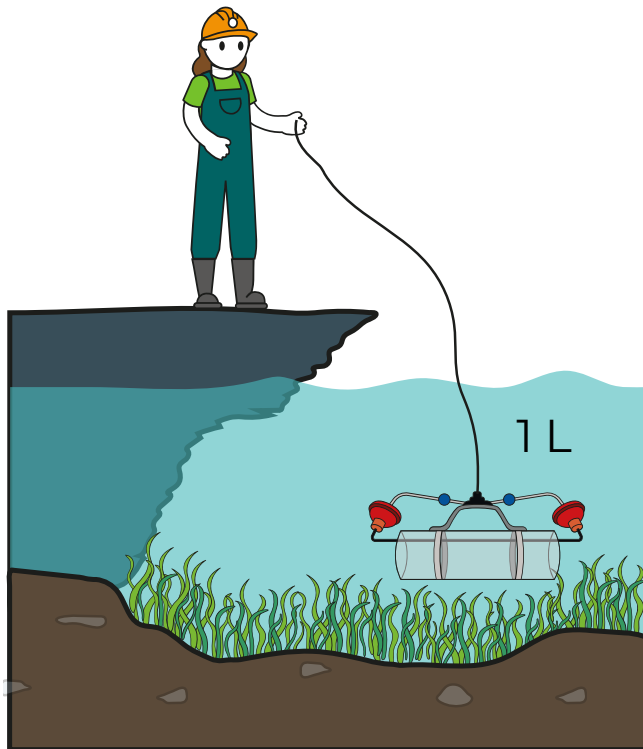
Nutrientes (ortofosfatos, fósforo total, nitrato, amonio, nitrito y nitrógeno total)

1 Colecte con una botella Van Dorn muestras de agua de un litro del fondo.

2 Conserve las muestras en refrigeración a una temperatura de 4 °C hasta su procesamiento.

24

Indicador 2



3 Registre datos (página 25).

Evaluación del estado trófico estuarino (modelo *Assessment of Estuarine Trophic Status*)

El modelo *Assessment of Estuarine Trophic Status* (ASSETS por sus siglas en inglés) método de Presión-Estado-Respuesta (PER), el cual permite obtener una línea base para la priorización de acciones de manejo de los cuerpos de agua.

Este modelo se compone de tres elementos principales:

- **Presión:** hace referencia a los factores de influencia que son una combinación de la susceptibilidad natural y la descarga de nutrientes relacionada con el hombre.
- **Estado:** la condición eutrófica global basada en la combinación del estatus de cinco indicadores (clorofila a, macroalgas, oxígeno disuelto, distribución de la vegetación marina y florecimientos algales tóxicos y/o nocivos).
- **Respuesta:** acciones de manejo planeadas y expectativas de cambio del Estado.

Datos a registrar:

- Nombre del cuerpo de agua
- Coordenadas geográficas del sitio de muestreo
- Identificador (ID)
- Clorofila ($\mu\text{g/L}$)
- Categoría trófica
- Nutrientes (mg/l)
- Oxígeno disuelto
- Descripción de los componentes del análisis PER (Presión, Estado y Respuesta)
- Observaciones

Basado en:

- Contreras-Espinosa, F., O. Castañeda-López y A. García-Nagaya (1994). La clorofila a como base para un índice trófico en lagunas costeras mexicanas. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* 21 (1-2): 55-66.
- Herrera-Silveira, J. A., S. M. Morales-Ojeda y T. O. Cortes-Balan (2011). *Eutrofización en los ecosistemas costeros del Golfo de México*. SEMAR-NAT-NOAA-GEF-UNIDO.
- Morales-Ojeda S. M., Herrera-Silveira J. A., Montero J. Terrestrial and oceanic influence on spatial hydrochemistry and trophic status in subtropical marine near-shore waters. *Water Reserch*. (2010) Dec; 44(20):5949-64. doi: 10.1016/j.watres.2010.07.046. Epub 2010 Jul 23. PMID: 20719354.
- Moreno, D. P. M., Manzano, J. Q., y Cuevas, A. L. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *Contactos*, 78, 25-33. <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n78ne/eutrofia2.pdf>
- Ortega, R. G. (2013). *Ecología del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, basada en la aplicación e interpretación de algunos índices tróficos, parámetros físico-químicos y biológicos* (Doctoral dissertation, El Colegio de la Frontera Sur).

Indicador 3

*Composición de la vegetación circundante

.....

• **Nota importante:** los monitores deberán poder contar con •
• guías de identificación de campo disponibles para la zona o •
• tipo de ecosistema; una alternativa es elaborar una guía de •
• identificación "doméstica" utilizando imágenes obtenidas en •
• internet a partir de listados de especies registradas en el ANP •
• en cuestión. En caso de que no sea posible la identificación •
• de los taxones, deberá emplear técnicas de recolecta para su •
• posterior determinación. •

.....



Área de vegetación reducida

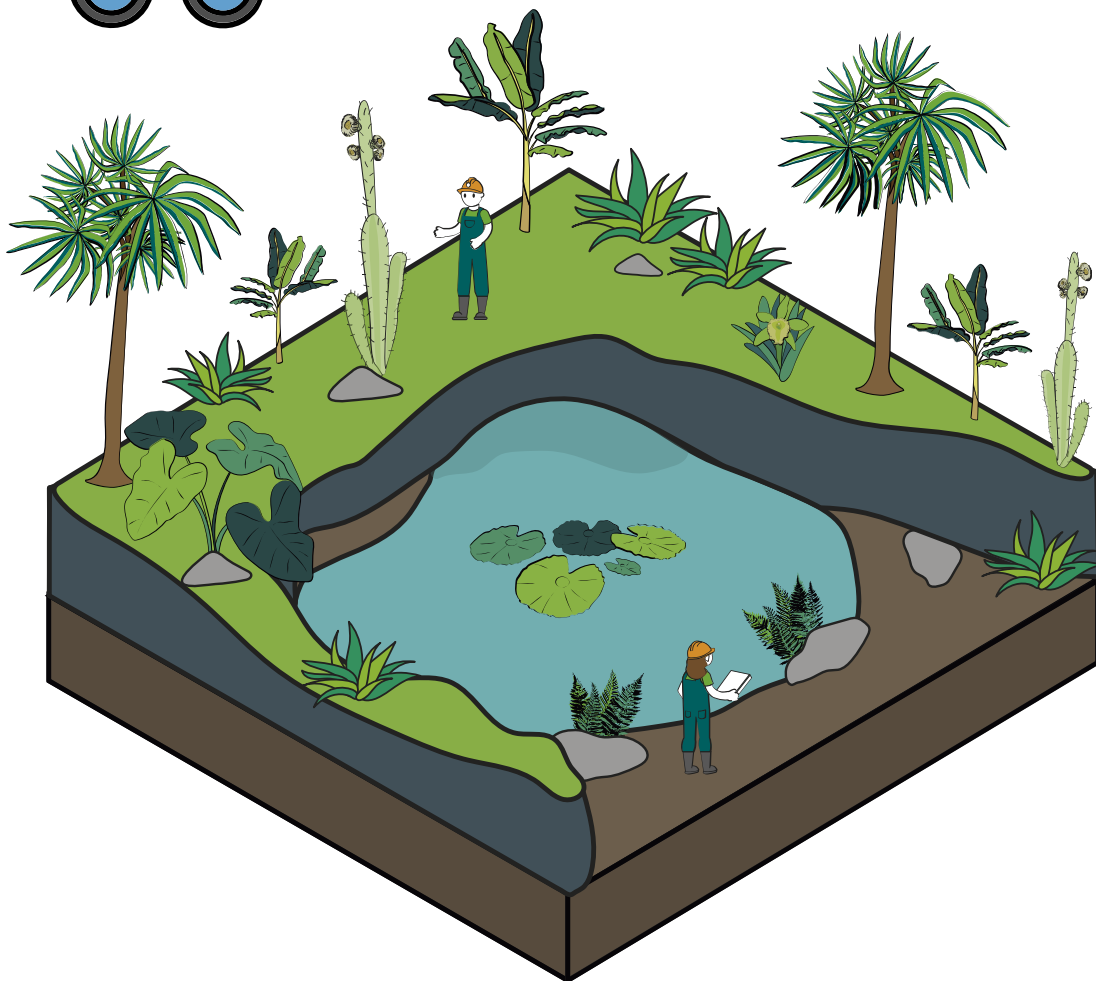
1 Realice un barrido completo de la vegetación circundante al cuerpo de agua.

2 Utilice guías de campo disponibles para apoyarse en la identificación de las especies.

3 Registre datos.

Datos a registrar:

- Nombre común
- Género o especie (si se conoce)
- Tipo de planta: arbusto, árbol, liana, bejuco, caña, cactácea, palma, entre otros
- Número de individuos de la misma especie por altura: 0.25 a 1.50 metros, 1.51 a 2.75 metros, más de 2.75 metros
- Porcentaje de cobertura
- Vigor: salud y fuerza del individuo (buena, regular, mala)
- Observaciones



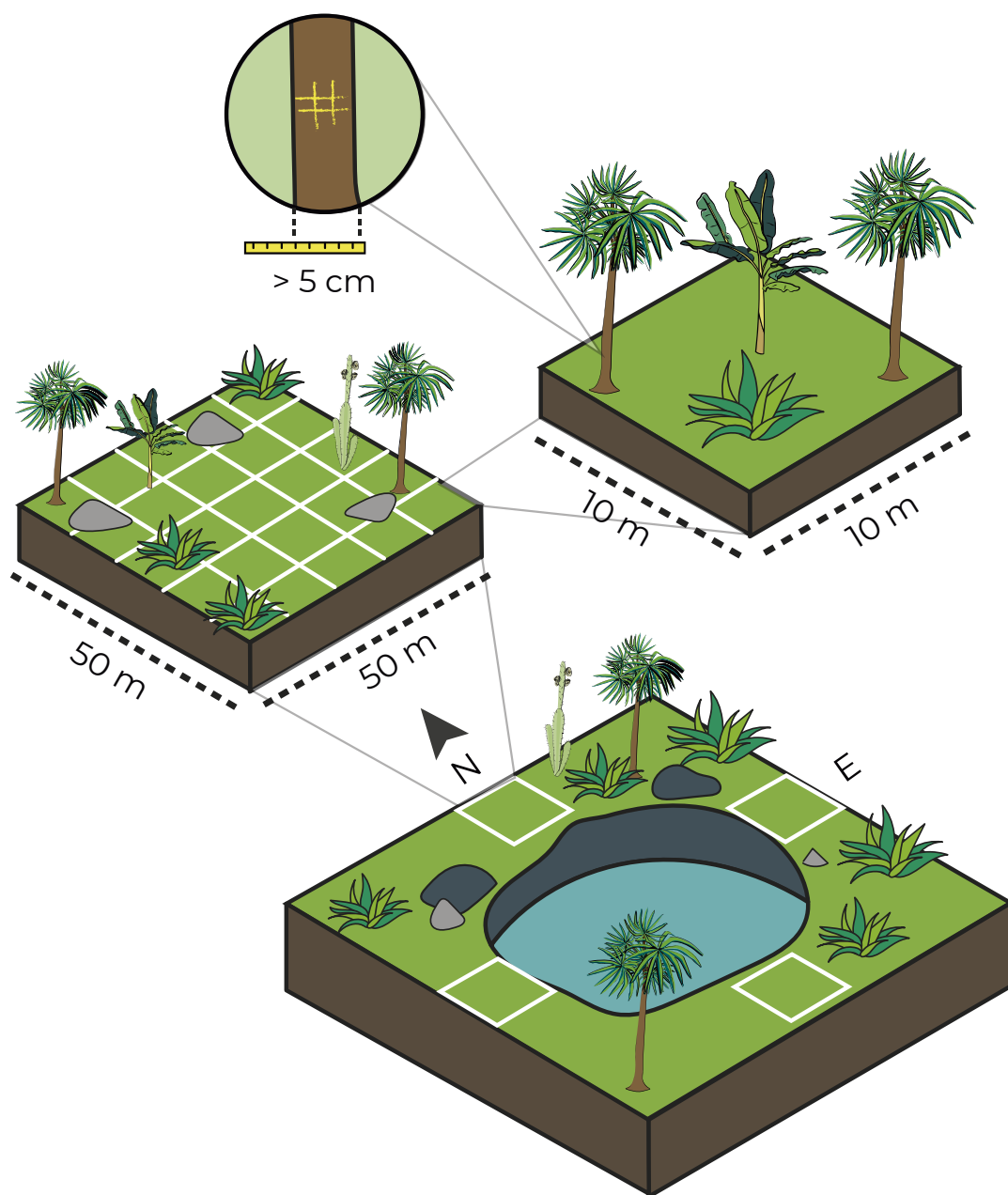
Área de vegetación aledaña amplia

1 Subdivida cada una en parcelas de 10 x 10 m, en cada una de estas parcelas realice un “barrido” de toda la subunidad, numerando de forma consecutiva todos los individuos arbóreos que tengan un diámetro normal > 5 cm.

2 Cada individuo deberá ser marcado con el número consecutivo que le corresponda, con una placa o cinta numerada.

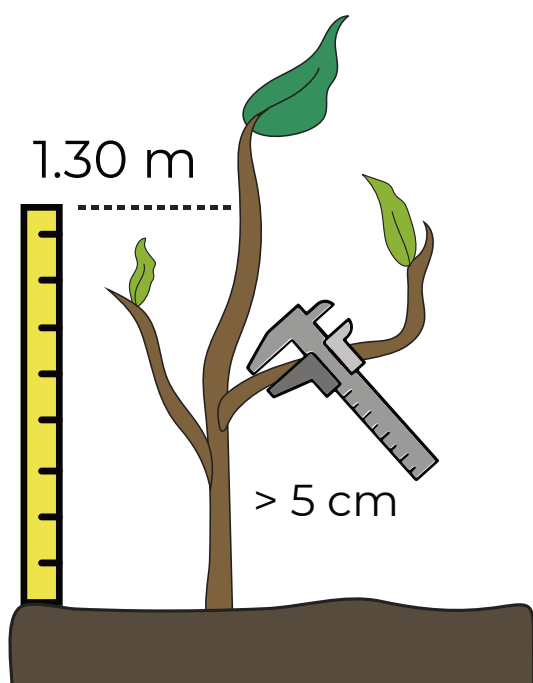
30

Indicador 3



3 Si a la altura de 1.30 m hay más de un tallo o una rama, es necesario que los mida; si presentan un diámetro normal > 5 cm, anótelos como parte del mismo individuo (p. ej. Individuo 5, rama 1, su diámetro normal y altura; Individuo 5, rama 2, su diámetro normal y altura, y así sucesivamente).

4 Registre datos.

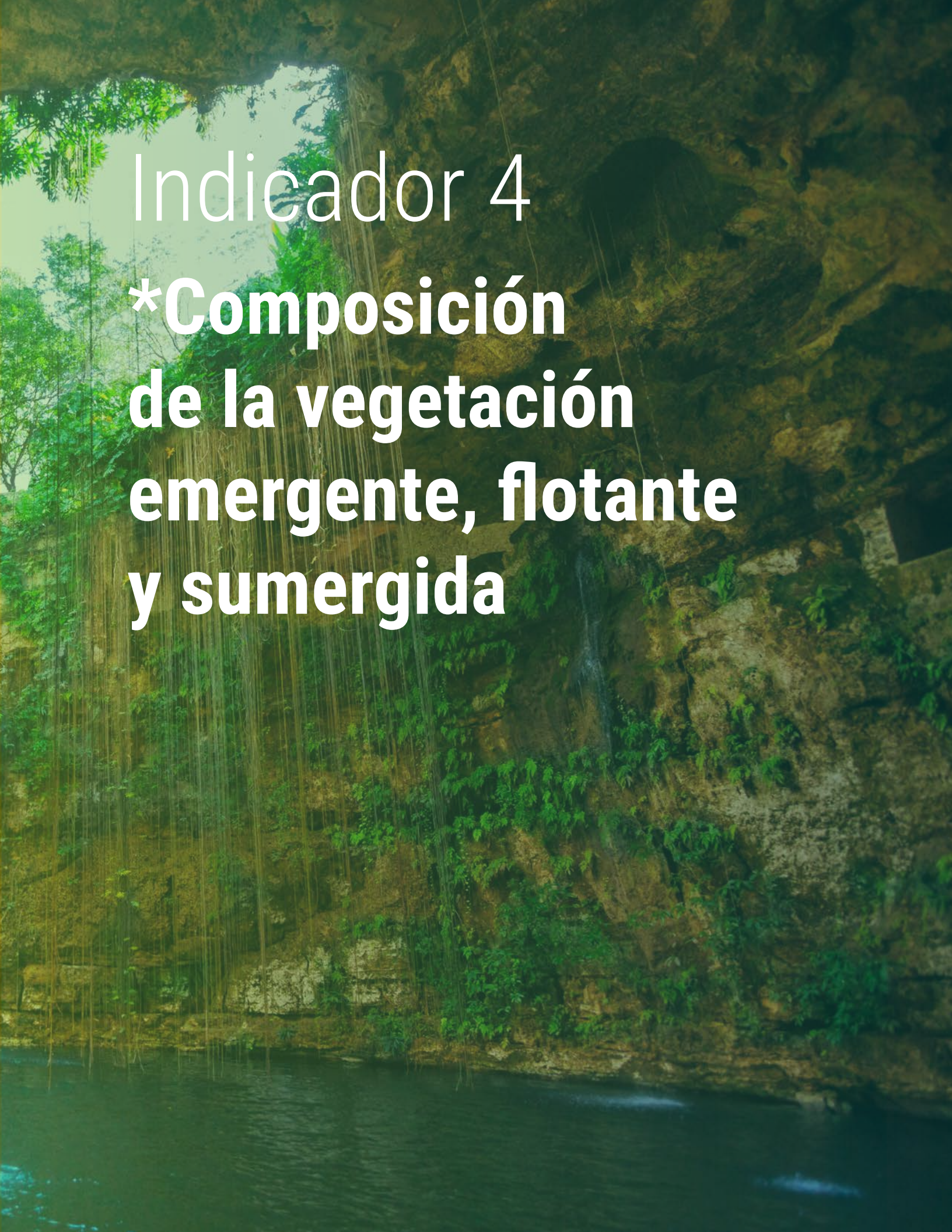


Datos a registrar:

- Parcela a la que pertenece
- Subparcela a la que pertenece
- Nombre común
- Género o especie (si se conoce)
- Tipo de planta: arbusto, árbol, liana, bejuco, caña, cactácea, palma, entre otros
 - Para el caso de vegetación arbórea:
 - Número de individuo
 - Número de rama o tallo
 - Género o especie (en caso de conocerla)
 - Señalar si está vivo o muerto
 - Diámetro normal
 - Altura
 - Diámetro de copa
 - Presencia de epífitas
 - Presencia de afectaciones en su estructura debido a incendios, plagas (barrenador, defoliador, descortezador, muérdago) o enfermedades y el porcentaje de daño (proporción del total del individuo que se encuentra afectado)
 - Observaciones

Basado en:

- Ávila, A. D. S. C., Pérez, C., y Lara, R. T. (2016). Estructura del estrato arbóreo circundante de un cenote, km 37 carretera Mahahual-Xcalak, Quintana Roo, México. *Teoría y Praxis*, (19), 45-63.
- COMISIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAFOR). (2018). *Inventario Nacional Forestal y de Suelos Informe de Resultados 2009-2014*. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2018/CD002905.pdf>
- Flores, J. S. y Espejel, I. (1994). *Tipos de vegetación de la Península de Yucatán*. *Etnoflora Yucatanense*. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Sosa-Escalante, J. y Chablé-Santos, J. (2013). *Conservación y manejo de los cenotes. ordenamiento territorial del estado de Yucatán: visión, 2030*.

A photograph of a lush tropical cave interior. A waterfall flows down a rocky wall on the right side. Numerous long, thin, brown vines hang from the ceiling and the left side of the cave. The walls are covered in green moss and small plants. The water at the bottom is dark and still.

Indicador 4

***Composición de la vegetación emergente, flotante y sumergida**



El punto de muestreo debe ser representativo de las características físicas y estructurales del cuerpo de agua. Se proporcionan tres opciones dependiendo de la accesibilidad al cuerpo de agua.

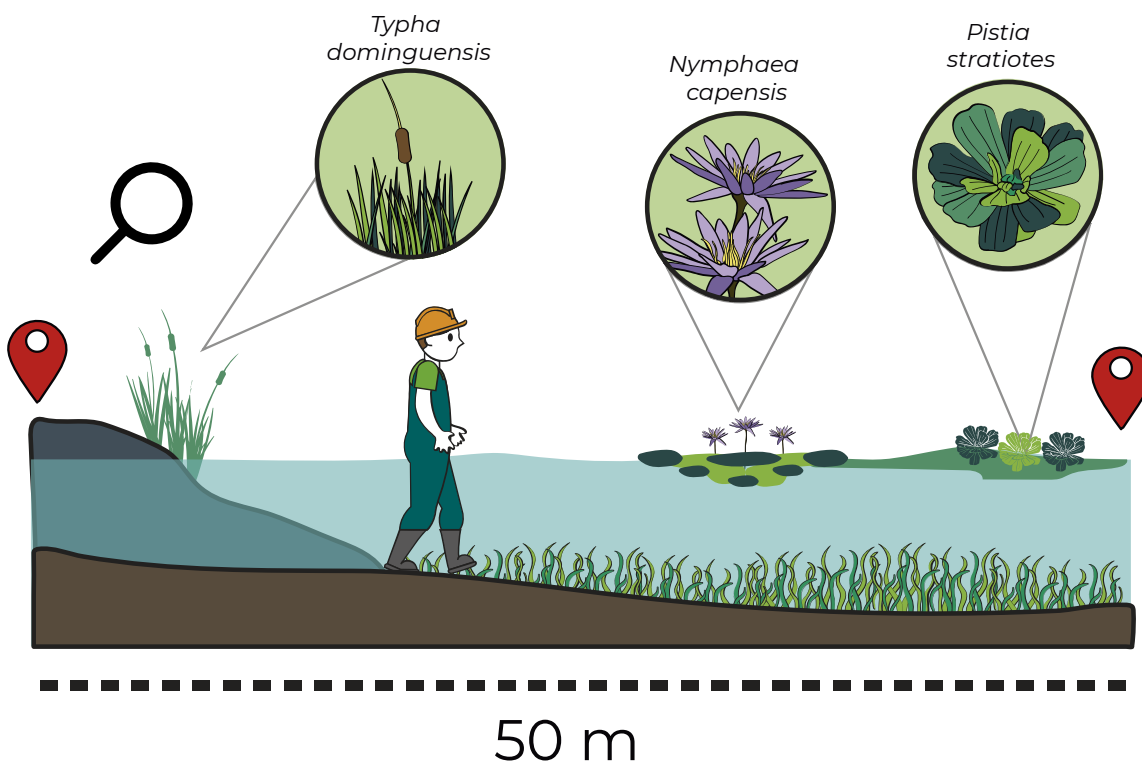
Cuerpos de agua no profundos

En caso de que el cuerpo de agua no sea tan profundo y pueda ingresar a él por su propio pie:

- 1 Establezca un transecto de 50 m de longitud.
- 2 Tome las coordenadas del inicio y final del transecto.
- 3 Recorra el transecto y observe cuidadosamente, pueden presentarse especies que no sea posible identificar *in situ* y por ello requerirían de una colecta para su posterior identificación.

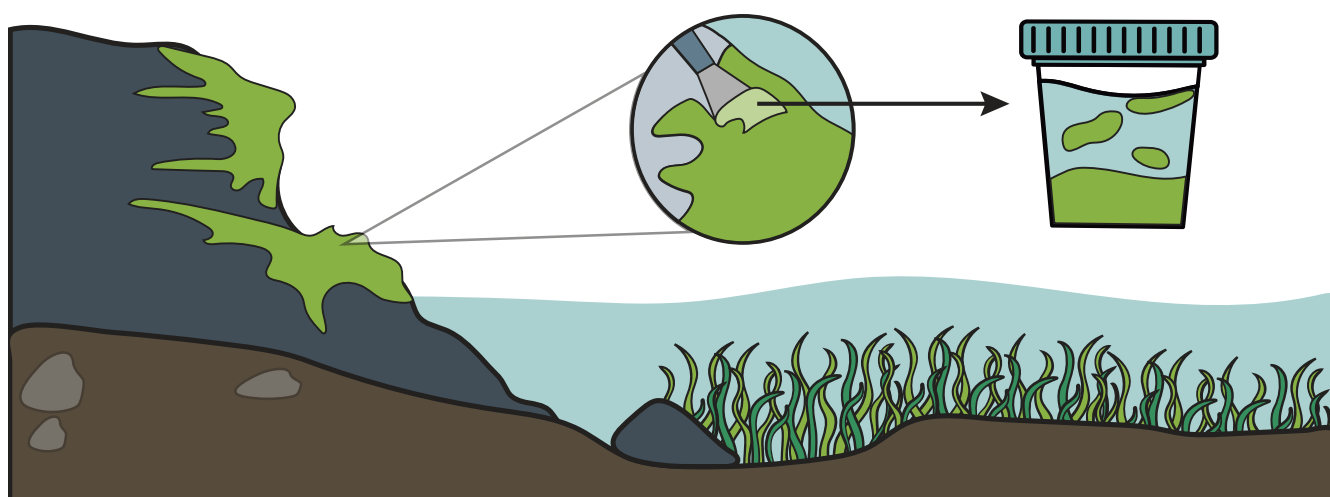
- 4 Registre datos (página 38).

En caso de que no haya sido posible la identificación los taxones, deberá emplear técnicas de recolecta para su posterior determinación.



I. Especies de pecton (se denomina pecton a los talos aplanados, laminares o esféricos sujetos a un sustrato)

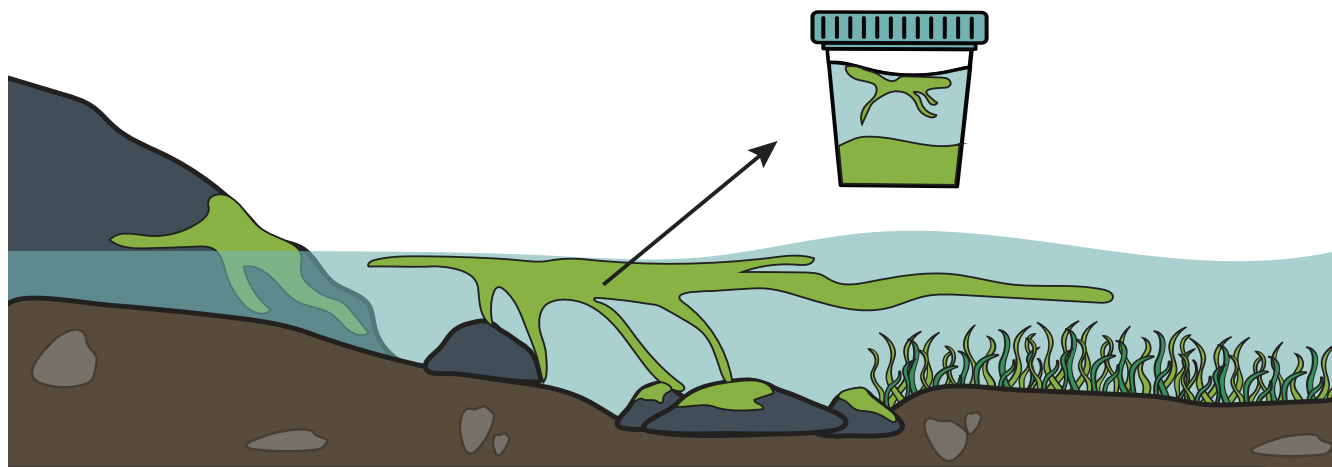
- 1 Con la ayuda de una pequeña espátula se separará la muestra del sustrato.
- 2 Posteriormente se introducirá la muestra en un recipiente de plástico y se conservará mediante la adición de formaldehído al 4 %.
- 3 Etiquete la muestra (fecha, localidad y nombre del colector) correctamente para su posterior determinación en laboratorio con un experto que colabore con el ANP.
- 4 Registre datos (página 38).



II. Especies de plocon y especies flotantes

(se denomina plocon a las algas filamentosas, fijadas al sustrato por la base, pero cuya biomasa se extiende a cierta distancia del fondo)

- 1 Se recogerán a mano o con la ayuda de un rastrillo o potera.
- 2 Se guardarán en bolsas de plástico herméticas, recipientes de plástico o cristal o pliegos de herbario.
- 3 Etiquete la muestra (fecha, localidad y nombre del colector) correctamente para su posterior determinación en laboratorio con un experto que colabore con el ANP.
- 4 Registre datos (página 38).

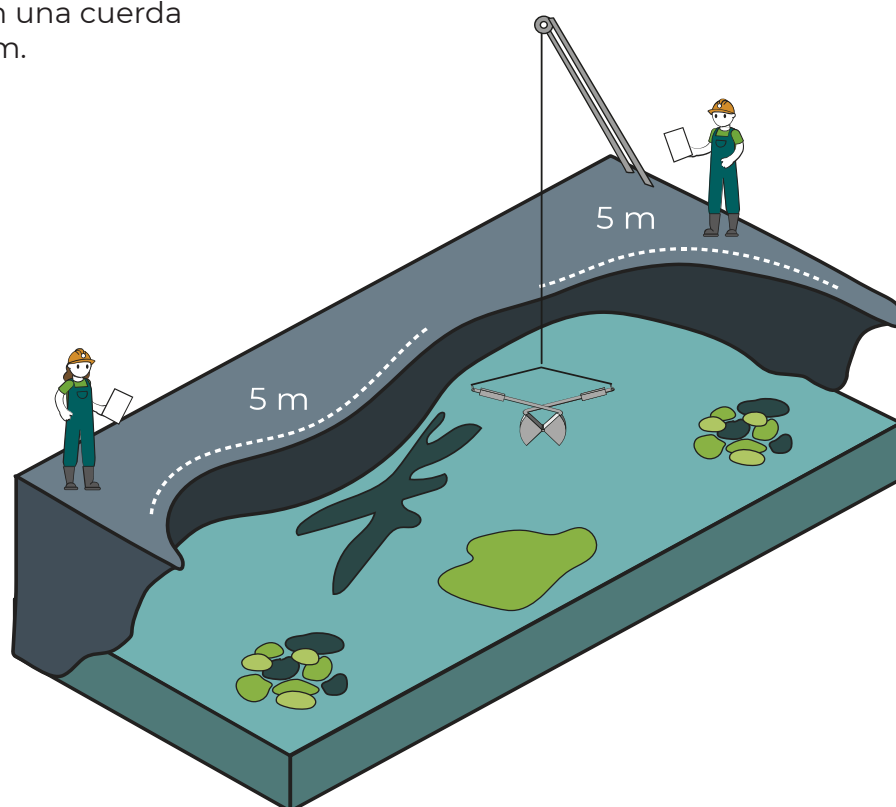


Cuerpos de agua de difícil acceso

En cuerpos de agua donde sea imposible el acceso:

1 El muestreo se realizará desde la orilla en puntos separados entre sí por 5 m, utilizando la draga o potera para extraer la vegetación con una cuerda de aproximadamente 2 m.

2 Registre datos.



Clases de cobertura (%)
<0.1 % - presencia
0.1 - <1 % - raro
1 - <5 %
5 - <10 %
10 - <20 %
20 - <30 %
30 - <40 %
40 - <50 %
50 - <60 %
60 - <70 %
70 - <80 %
80 - <90 %
90 - 100 %

Tabla 2. Clases de porcentaje de cobertura de macrófitos.

Fuente: tomado de MAGRAMA, (2015).

Escala	Descriptor (presencia de vegetación en la potera o rastrillo)
1	Algunos fragmentos
2	Cantidades pequeñas
3	Cantidades medias
4	Abundante
5	Muy Abundante

Tabla 3. Porcentaje de cobertura de las especies.

Datos a registrar:

- Coordenadas (inicio y final)
- Género, especie (en caso de conocerlo) o nombre común del individuo observado
- Identificador (ID)
- Rango de cobertura (en porcentaje) de cada taxón en el tramo (tabla 2)
- Rango de cobertura total (en porcentaje) de macrófitos en el tramo, que no podrá superar el 100 % (tabla 3)
- Superficie del tramo de muestreo que no es colonizable por macrófitos, expresado en porcentaje
- Número de las fotografías de las especies observadas durante el monitoreo
- Observaciones

Basado en:

- Flores, J. S. y Espejel, I. (1994). *Tipos de vegetación de la Península de Yucatán*. Etnoflora Yucatanense. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Gutiérrez Báez, C., (2006). Lista de especies de plantas acuáticas vasculares de la Península de Yucatán, México. *Polibotánica* (21: 75-87).
- Jácome, E. T. (2014). Vegetación acuática y estado trófico de las lagunas andinas de San Pablo y Yahuarcocha, provincia de Imbabura, Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*, 35 (1-2), 121-131.
- MAGRAMA. (2015). *Protocolo de muestreo y laboratorio de macrófitos en ríos*. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). Available online: https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/ml_r_m_2015_protocolodemuestreoylaboratoriodemacrofitosenrios_def_tcm30-175290.pdf
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación) (2013). *Propuesta de Indicadores para el Programa de Monitoreo Ecológico en el Ámbito de Ecosistemas de Aguas Continentales*. <https://canjeporbosques.org/wp-content/uploads/2017/07/Informe-Final-1.pdf>
- Sosa-Escalante, J., y Chablé-Santos, J. (2013). Conservación y manejo de los cenotes. En *Ordenamiento territorial del estado de Yucatán: visión, 2030*, Universidad Autónoma de Yucatán. Gobierno del Estado de Yucatán, 63-74.



A photograph of a tropical cave interior. A waterfall flows down a rocky wall on the right side. Numerous long, thin vines hang from the ceiling on the left side. The cave floor is covered with green plants and ferns. The water at the bottom is dark and still.

Indicador 5

Composición de plancton



Para llevar a cabo el monitoreo de la abundancia de la comunidad planctónica de un cuerpo de agua se proponen tres métodos. La selección del método se realizará con base en las capacidades de cada ANP respecto a sus recursos humanos y económicos disponibles.

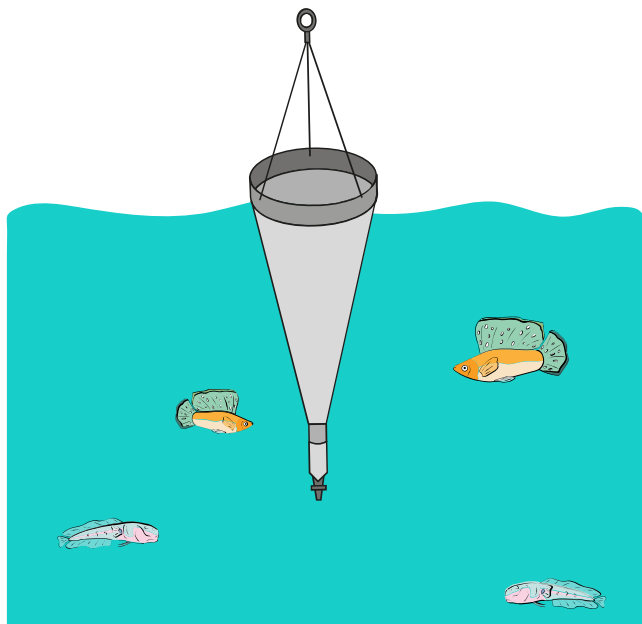
Además, debido a lo difícil que resulta la determinación taxonómica de la comunidad planctónica, se recomienda establecer un convenio de colaboración entre el ANP y laboratorios especializados de universidades locales, centros de investigación o Asociaciones de la Sociedad Civil. Adicionalmente a la recomendación anterior, también se sugiere que, si la determinación taxonómica hasta nivel

de especie no es posible, entonces se mencione el grupo o la familia a la que pertenecen los individuos observados.

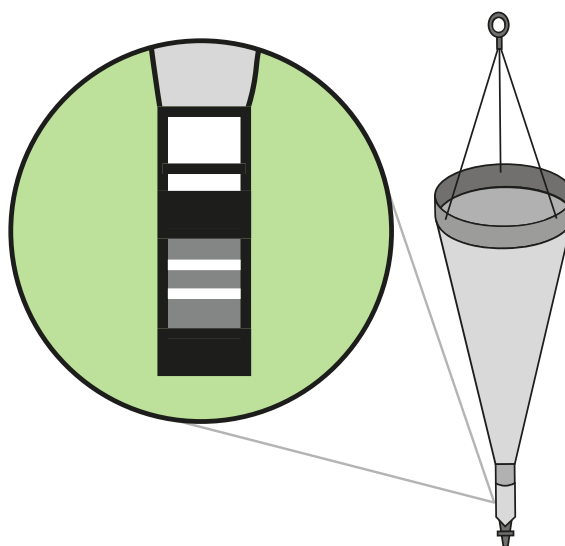
Finalmente, para la medición del indicador se deberán seleccionar varios puntos dentro de los sitios de muestreo con la finalidad de lograr una mayor representatividad de la comunidad planctónica del cuerpo de agua. Asimismo, será importante que se indiquen las condiciones bajo las cuales se está realizando el monitoreo. Por ejemplo, si se presentan lluvias, si hay vientos fuertes, incremento de temperatura, presencia de corrientes fuertes o con distinta temperatura, entre otras condiciones.

Muestreo con red por arrastre

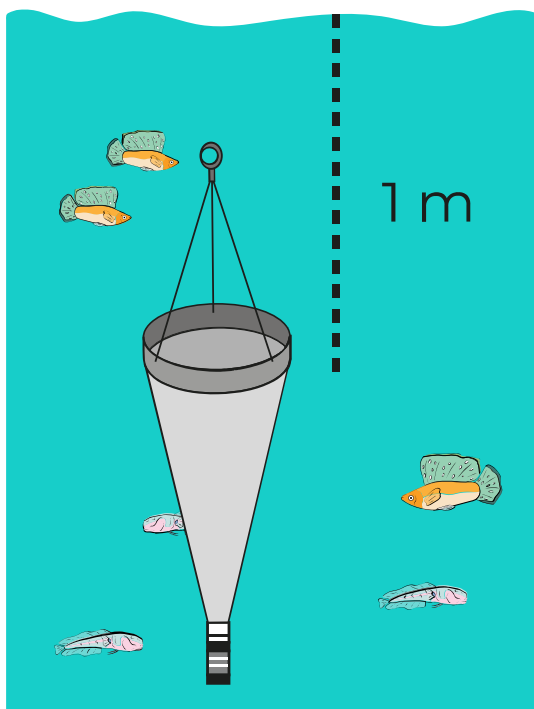
- 1 En el sitio donde se llevará el muestreo, enjuague la red con agua del lugar.



- 2 En el extremo de la red se instala un colector en el que quedará el fitoplancton después de que el agua ha pasado por los poros de la red.



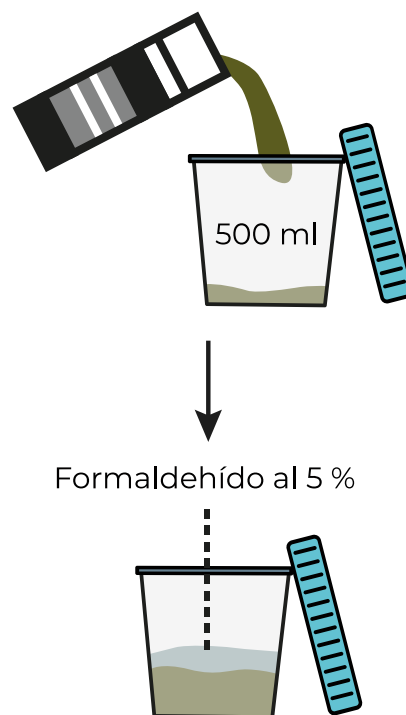
3 Amarre la red y sumérgjala a 1 m.



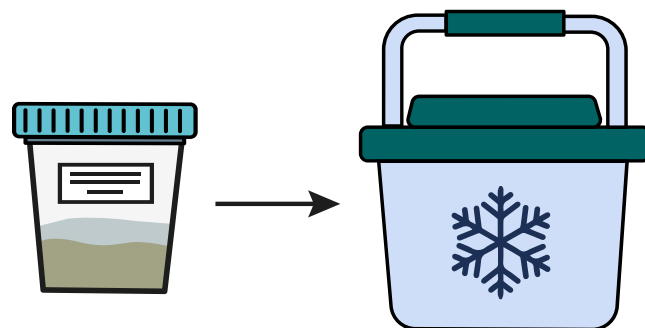
4 Comience a avanzar a velocidad constante (utilizando una embarcación o por medio del buceo) y pasados cuatro minutos saque la red del agua.



5 El contenido del colector se pasa a un recipiente de plástico de 500 ml y se fija con formaldehído al 5 %.



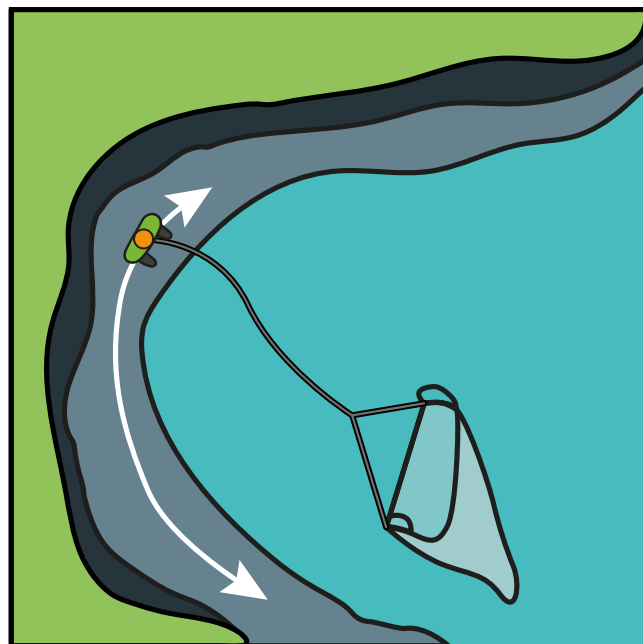
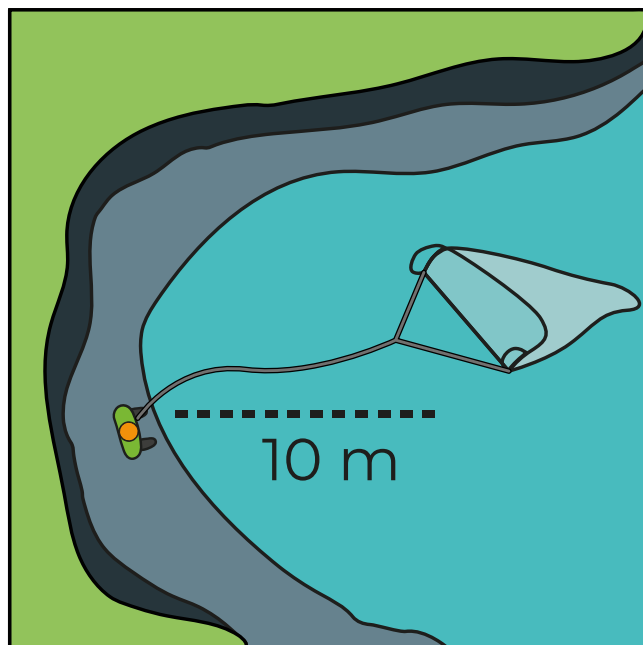
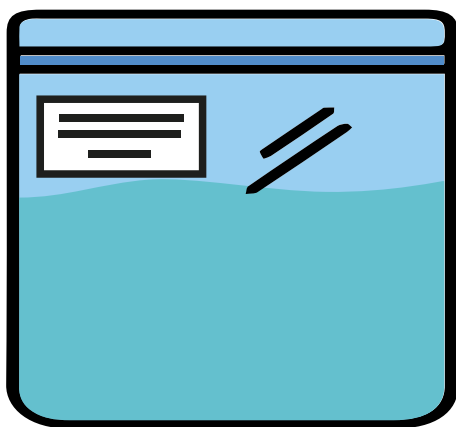
6 Etiquete correctamente con el nombre de quien colectó la muestra, la fecha de colecta y sitio. Guarde la muestra en una hielera para su posterior análisis en el laboratorio.



7 Registre datos (página 47).

Muestreo con red a profundidad

- 1** Introduzca la red a una distancia aproximada de 10 m. Para esto se le ajusta un peso en el extremo.
- 2** Manteniéndose en un solo lugar, realice suaves movimientos giratorios horizontales, verticales o de derecha a izquierda durante 1 minuto.
- 3** Extraiga la red y vierta el sobrenadante en una bolsa plástica de cierre hermético para su posterior análisis en laboratorio.
- 4** Registre datos (página 47).

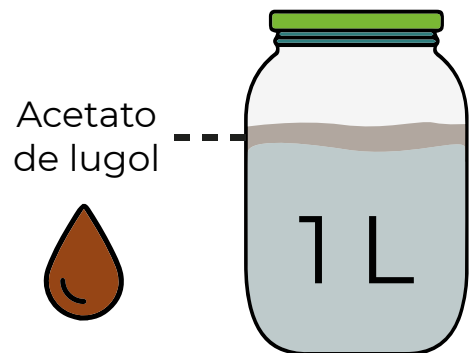


Muestreo con botella Van Dorn

1 Abra y fije las tapas en la botella de Van Dorn y cierre las válvulas.

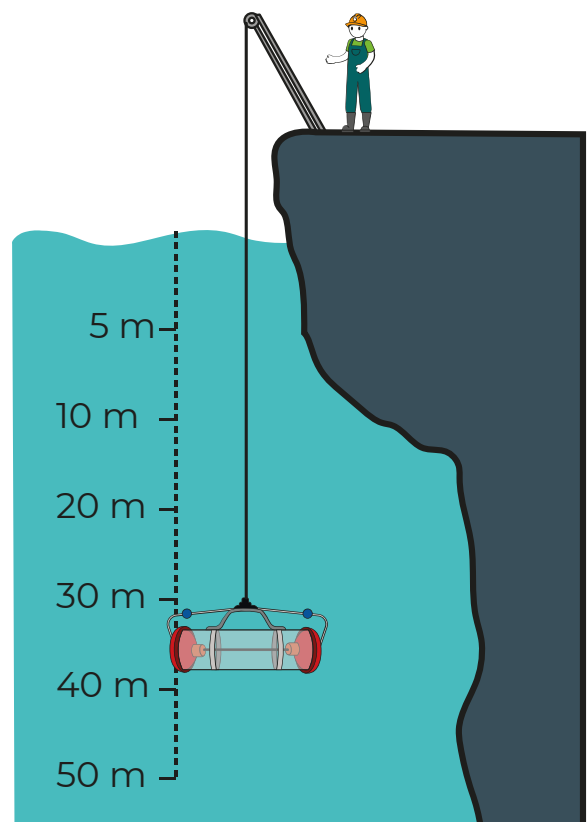
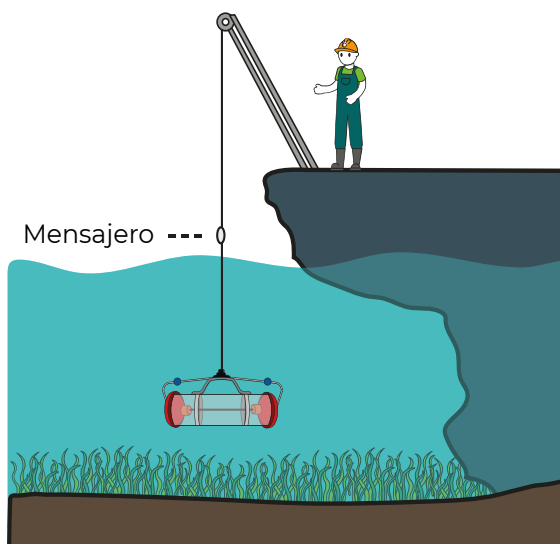
2 Sumérjala a un lado de la lancha o desde la orilla (a 1 m debajo de la superficie), según lo permita el cuerpo de agua.

4 Saque la botella, ábrala, vierta el agua en un frasco de 1 L y agregue el acetato de lugol.



5 Etiquete el frasco con la profundidad y repita el proceso a diferentes profundidades (5, 10, 20, 30, 40, 50 m).

3 Coloque el mensajero en la línea y déjelo caer para que se disparen las cápsulas.



6 Mantenga las muestras en una hielera y guárdelas para el análisis posterior que se llevará a cabo en el laboratorio.

7 Registre datos.



Nota importante: para realizar el procesamiento de las muestras colectadas a través del método de su elección, en el laboratorio realice el conteo del plancton de acuerdo con los métodos establecidos para ello. En el caso del zooplancton se recomienda el uso de cámaras de sedimentación (cámaras de Utermöhl). Realice el recuento por barrido completo de toda la superficie de sedimentación, con aumentos entre 40x y 200x dependiendo de los taxones presentes y de la experiencia de la persona que revisa. Para el fitoplancton se recomienda el uso de la cuadrícula de Whipple y realizar barridos de la muestra a un aumento 100X.

Datos a registrar:

- Coordenadas de los sitios de muestreo
- Profundidad
- Número de especies/géneros/familias o grupos identificados del plancton
- Presencia de especies indicadoras de calidad del agua
- Observaciones relacionadas con el cuerpo de agua durante el monitoreo

Basado en:

- López, S. and Catzim, L. (2010). Capítulo 4: Microalgas Dulceacuícolas, en *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*, Centro de Investigación Científica de Yucatán, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA.
- Samanez, I., Hidalgo Del Águila, M., Palma, C., Ortega, H., Correa, V., Arana, J., y Rimarachín, V. (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Museo de Historia Natural, Departamentos de Limnología e Ictiología.
- Sosa-Escalante, J., y Chablé-Santos, J. (2013). Conservación y manejo de los cenotes. En *Ordenamiento territorial del estado de Yucatán: visión, 2030*, Universidad Autónoma de Yucatán. Gobierno del Estado de Yucatán, 63-74.

A photograph of a tropical cave interior. A waterfall flows down a rocky wall on the right side. Numerous long, thin vines hang from the ceiling on the left side. The cave floor is covered with green plants and ferns. The water at the bottom is dark and still.

Indicador 6

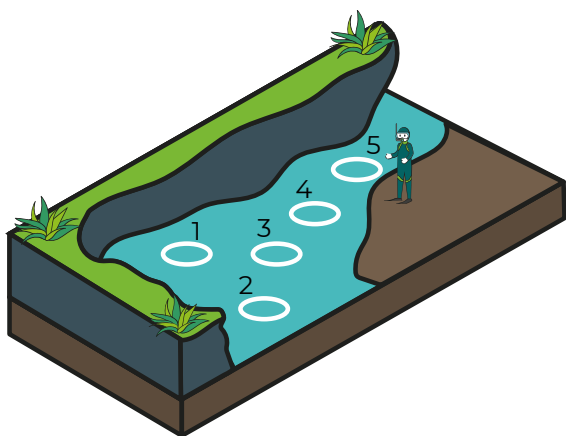
Composición de comunidad de invertebrados



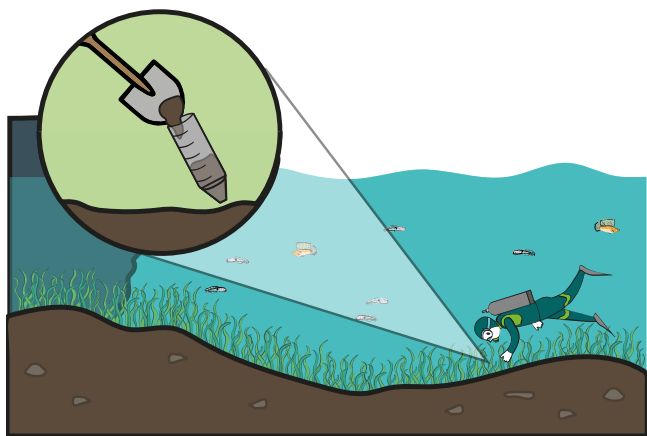
Para la medición de este indicador se proponen dos métodos:

Colecta de sedimento

- 1** En el cuerpo de agua, seleccione cinco puntos de muestreo a diferentes profundidades.

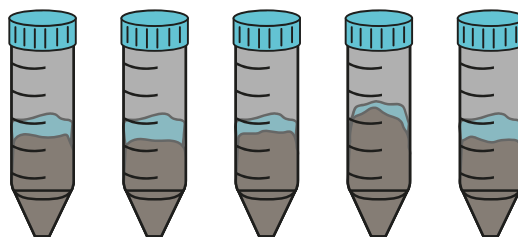


- 2** Con ayuda de una espátula (cuidando de no levantar el sedimento) obtenga muestras del sedimento del fondo y depositela en tubos Falcon de 50 ml, cuidando no dispersar el sedimento.



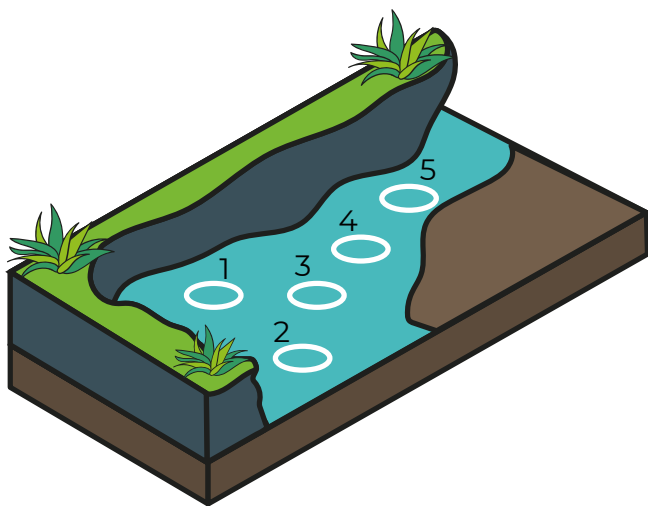
- 3** Almacene las muestras en hielo y fíjelas en etanol al 70 % para su análisis en laboratorio.

- 4** Registre datos (página 53).

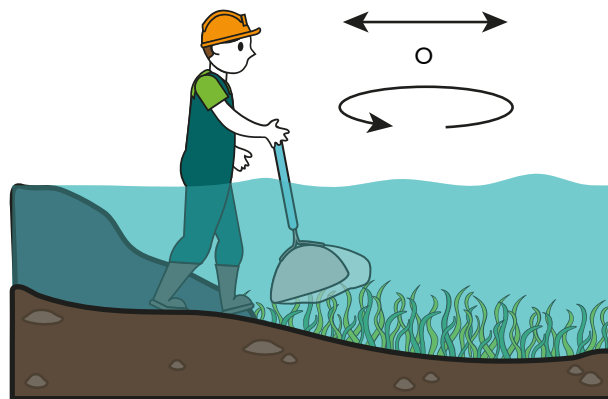


Red

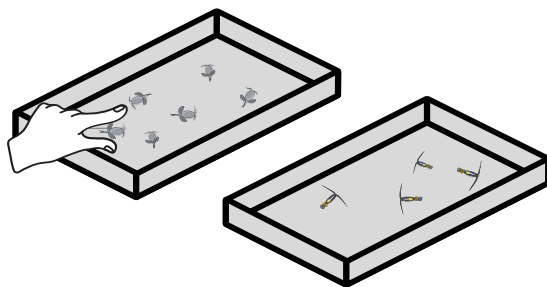
- 1** Ubique cinco puntos dentro del cuerpo de agua abarcando todos los microhábitats presentes (raíces sumergidas, cantos rodados, oquedades, restos leñosos, hojarasca y vegetación acuática); además de diferentes profundidades (fondo, nivel medio y superficie).



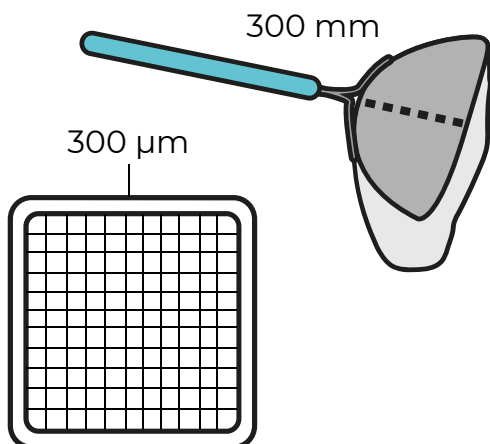
- 3** Sumerja la red y realice suaves movimientos giratorios horizontales, verticales o de derecha a izquierda.



- 4** Extraiga la red y vierta el contenido en charolas de plástico blancas en las que irá separando manualmente a los macroinvertebrados acuáticos colectados.



- 2** Para realizar la colecta de los macroinvertebrados, utilice una red tipo "D" de 300 mm de diámetro y una luz de malla de 300 μ m.



- 5** Deposite los macroinvertebrados en viales con solución de etanol al 80 % para su preservación y traslado a laboratorio. En dado caso de que no vaya a ser coleta definitiva, realice el conteo de los organismos, tome fotografías y libérelos de nuevo.

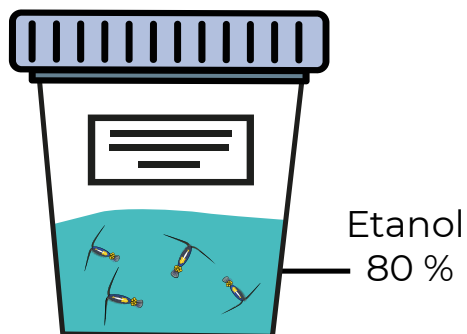
6 Para identificar a los individuos colectados en cada sitio:

- Extraiga los macroinvertebrados de cada uno de los frascos, sin mezclarlos, y colóquelos en un recipiente plano y limpio (un plato pequeño o una tapa blanca), con un poco de alcohol o agua, para que los pueda distinguir mejor
- Agrupe los individuos que se parecen entre sí, identifique los grupos Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (guíese con la ilustración) y cuente cuántos individuos se encontraron de cada grupo. Si requiere mayor apoyo en su identificación se sugiere utilizar claves especializadas (p. ej. Merritt *et al.*, (2008); Thorp y Covic. (1991)).
- Eventualmente se puede usar un microscopio de disección para la identificación de los organismos.

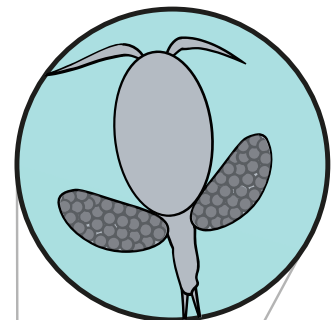
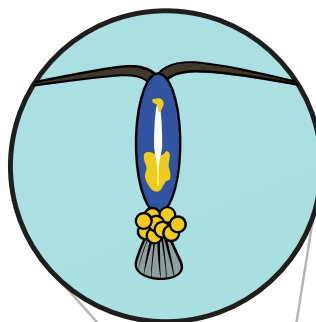
Datos a registrar:

- Coordenadas
- Profundidad
- Identificador (ID)
- Grupo, género o especie de invertebrado
- Número de individuos por grupo, género o especie de invertebrado
- Fecha de muestreo
- Fotografías de las especies observadas durante el monitoreo
- Observaciones

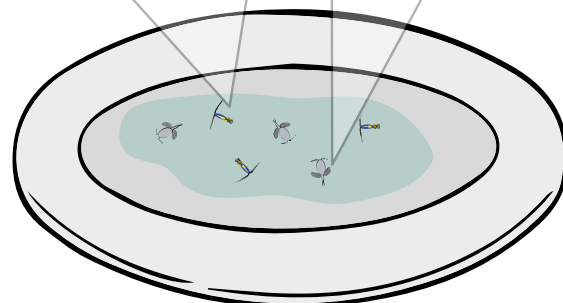
7 Registre datos.



Mastigodiptomus albuquerqueensis



Macrocyclus albidus



Basado en:

- Carrera, C. y Fierro, K. (2001). *Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. EcoCiencia. <https://bioblio.flacsoandes.edu.ec/catalog/resGet.php?resId=56374>
- Medina-González, R. M. (2000). *Aspectos biológicos de los cenotes de Yucatán*. Ediciones de la Universidad de Yucatán/Secretaría de Educación Pública (serie Fauna de los Cenotes de Yucatán, 18), 6.
- Merritt, R. W. Cummins, K. W. and Berg, M. B. (2008). *An introduction to the aquaticinsects of North America*. Kendall/Hunt Publishing Company.
- Tione, M. L., Blarasin, M., y Bedano, J. (2014). *EL ACUÍFERO COMO ECOSISTEMA: COMUNIDADES DE INVERTEBRADOS EN AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SU RELACIÓN CON VARIABLES AMBIENTALES*. UniRío Editora, Río Cuarto.
- Thorp, J. H. y Covich, A. P. (Eds.) (2009). *Ecología y clasificación de los invertebrados de agua dulce de América del Norte*. Prensa académica.

A photograph of a cave entrance. A waterfall flows from the top left, cascading down a rocky wall. Numerous long, thin vines hang from the cave ceiling, creating a curtain-like effect. The cave wall is covered in green moss and small plants. The water at the bottom is dark and still.

Indicador 7

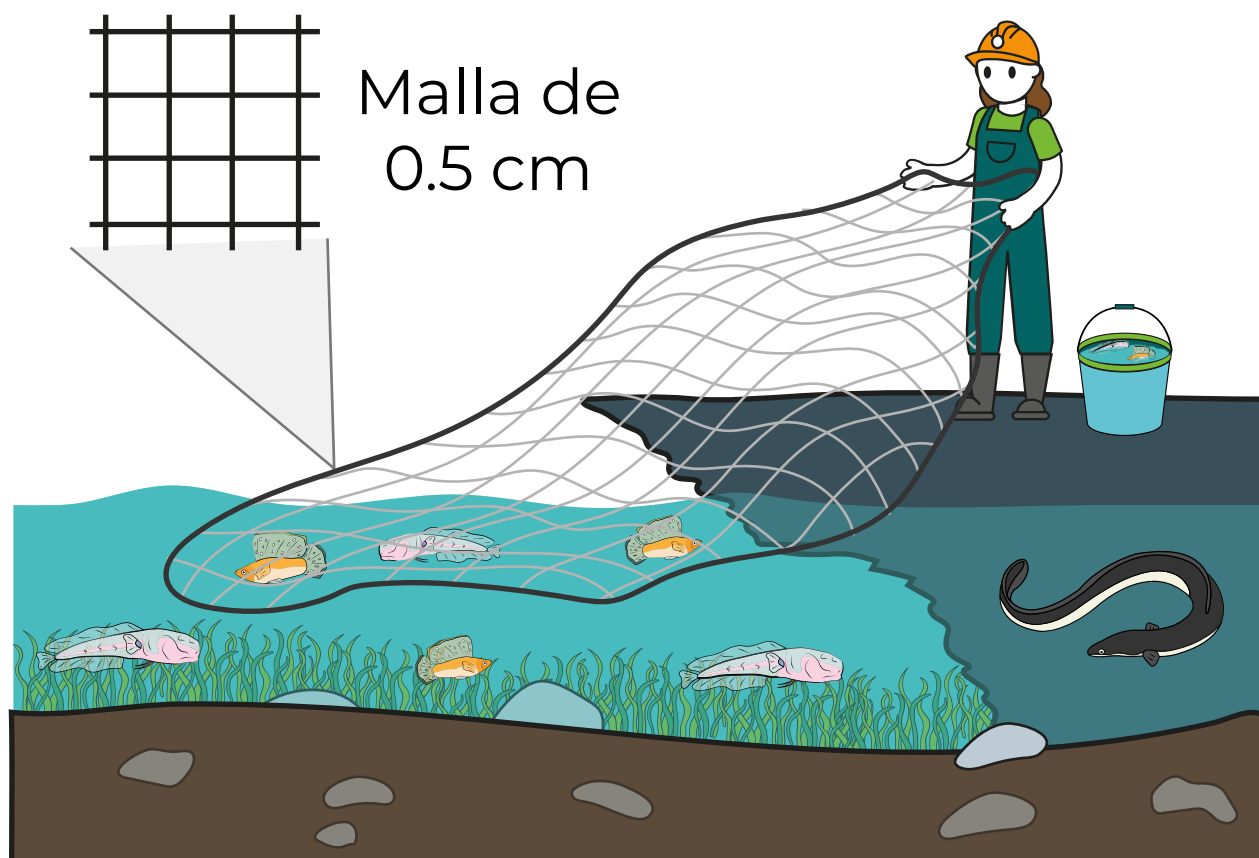
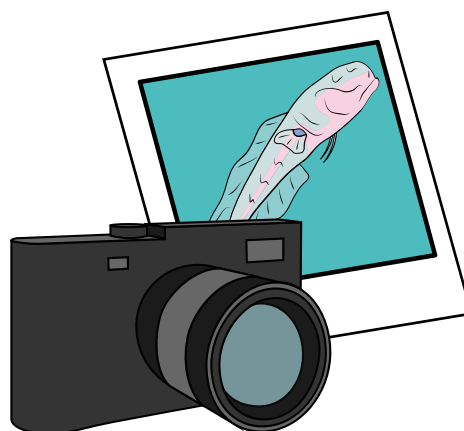
***Comunidad
de peces**



Para llevar a cabo el monitoreo de este indicador se proponen dos métodos, para ello ubique al menos tres puntos de muestreo dentro del sitio.

Uso de redes

- 1** Con ayuda de una red de luz de malla de 0.5 cm, capture los peces desde la orilla del cuerpo de agua y almacénelos en baldes para su posterior registro.
- 2** En caso de ser posible, tome una fotografía de los individuos capturados, para su posterior identificación.
- 3** Registre datos (página 58).



Uso de trampas

- 1 Instale 10 trampas para peces en los distintos puntos del cuerpo de agua.
- 2 Para ello, sumerja las trampas a una profundidad menor de 1.5 m durante 50 minutos.
- 3 Una vez transcurrido este tiempo, extraiga las trampas, almacene los peces en botes de agua y realice el conteo de individuos.
- 4 Registre datos.

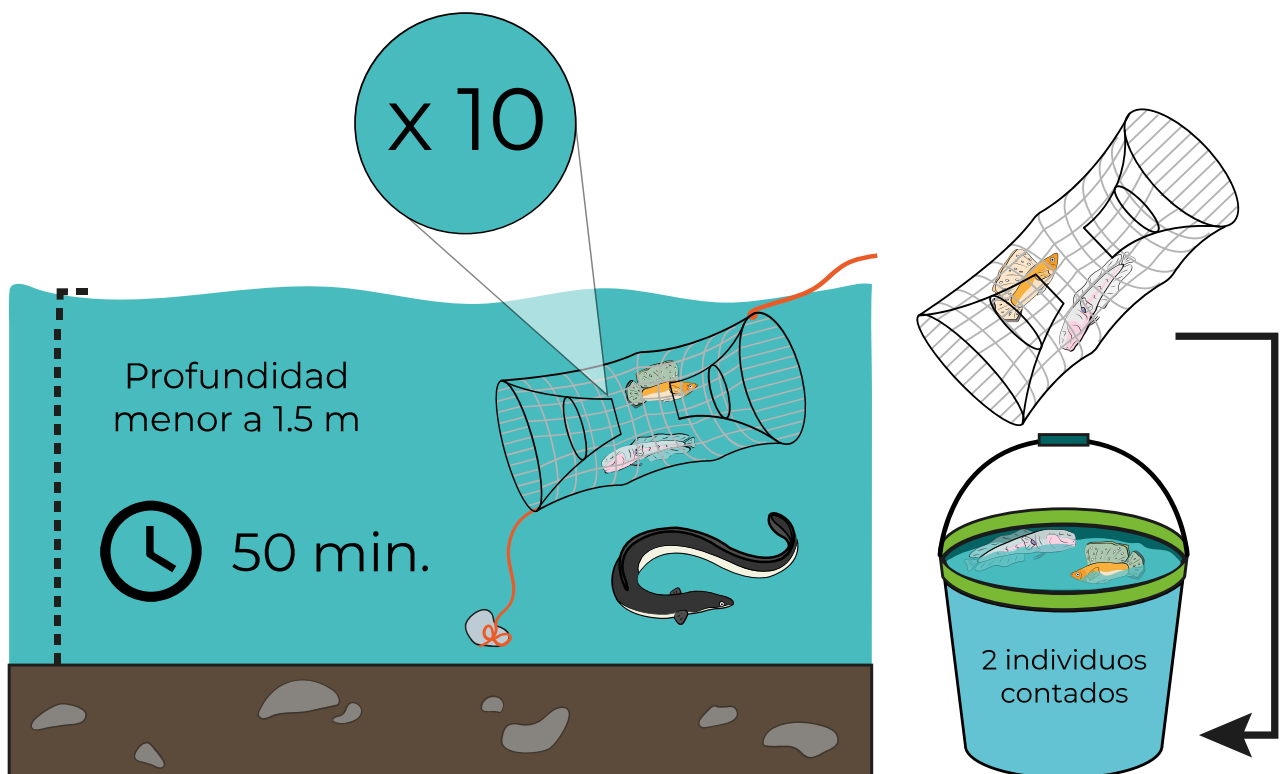
Datos a registrar:

- Coordenadas de muestreo
- Nombre común o nombre científico en caso de conocerlo
- Indique si corresponde a una especie nativa, exótica-invasora o migratoria
- Anote si observa algún tipo de enfermedad, malformaciones o lesión en el ejemplar
- Fotografías de las especies observadas durante el monitoreo
- Observaciones

Una vez finalizado el registro y en caso de que no sean especies exóticas-invasoras libere los organismos *in situ*.

58

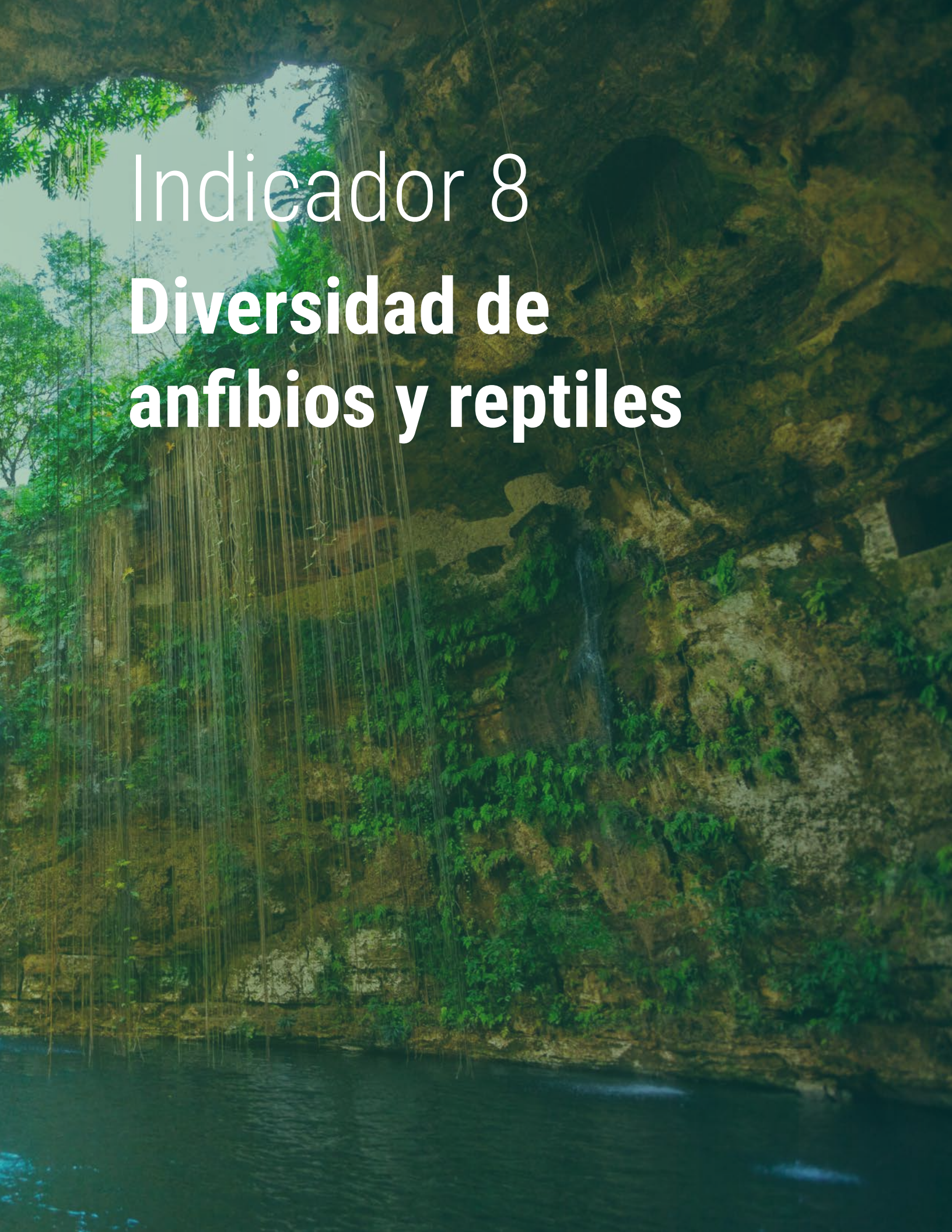
Indicador 7



Basado en:

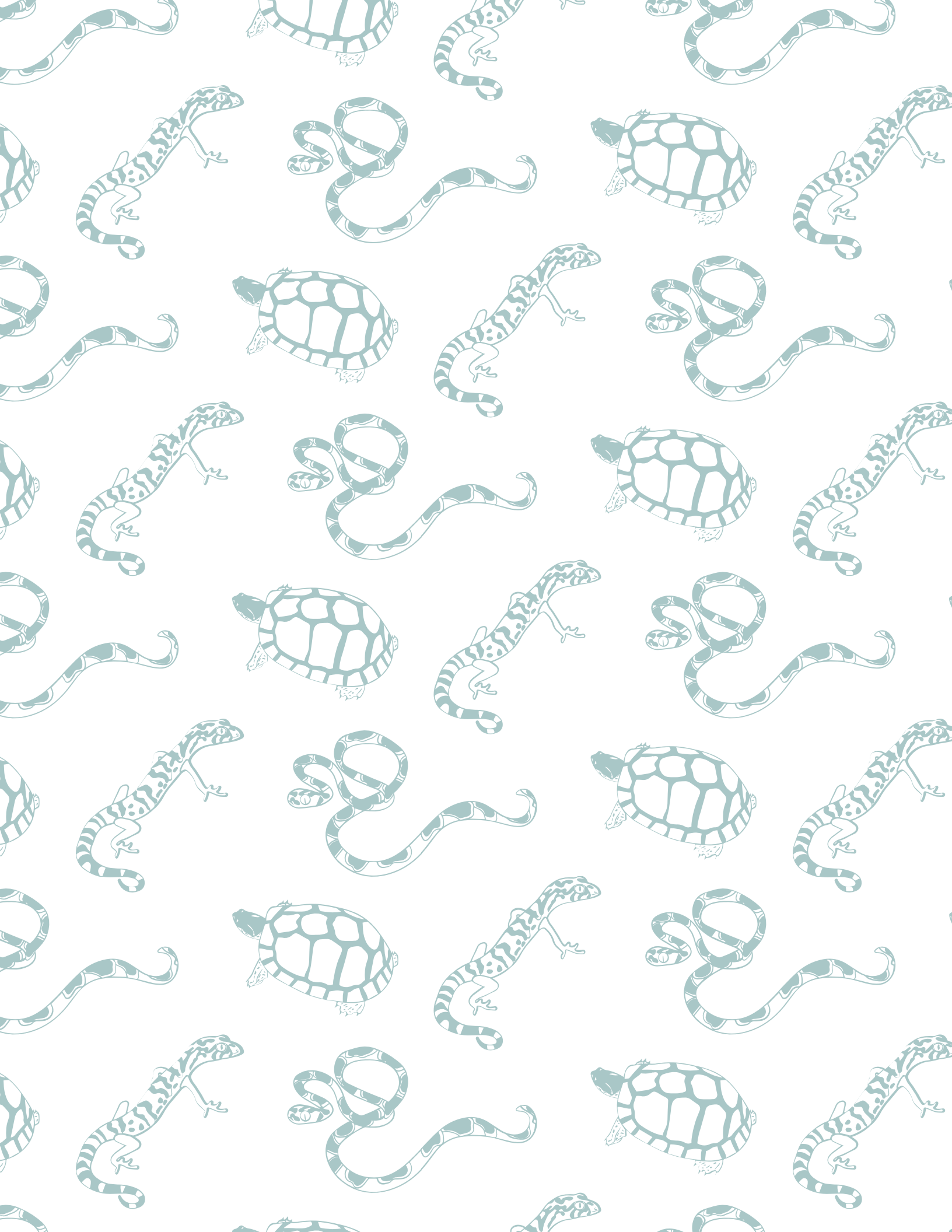
- Iliffe, T. M. (1993). *Fauna troglobia acuática de la Península de Yucatán. Biodiversidad marina y costera de Mexico*. SI Salazar-Vallejo y N. E. González (eds.) Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y CIQRO, 673-686.
- Medina-González, R. M. (2000). *Aspectos biológicos de los cenotes de Yucatán*. Ediciones de la Universidad de Yucatán/Secretaría de Educación Pública (serie Fauna de los Cenotes de Yucatán, 18), 6.
- Schmitter-Soto, J. J. (2020). La ictiofauna cenotícola (peces de cenote) más relevante de la península de Yucatán. *Bioagrociencias*, 13(1).
- Schmitter-Soto, J. J., Comín, F. A., Escobar-Briones, E., Herrera-Silveira, J., Alcocer, J., Suárez-Morales, E., Elías-Gutiérrez, M., Díaz-Arce, V., Marín, L. E. y Steinich, B. (2002). Hydrogeochemical and biological characteristics of cenotes in the Yucatan Peninsula (SE Mexico). *Hydrobiologia*, 467 (1-3). 215-228.
- Silk, N. y K. Ciruna (Eds.) (2004). *A Practitioner's Guide to Freshwater Biodiversity Conservation*. The Nature Conservancy.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación) (2013). *Propuesta de Indicadores para el Programa de Monitoreo Ecológico en el Ámbito de Ecosistemas de Aguas Continentales*. <https://canjeporbosques.org/wp-content/uploads/2017/07/Informe-Final-1.pdf>
- Vázquez, G., Castro, G., González, I., Pérez, R., y Castro, T. (2006). Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. *ContactoS*, 60(4), 41-48. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Bioindicadores-como-herramientas-para-determinar-la-calidad-del-agua.pdf>



A photograph of a lush tropical cave interior. A waterfall cascades down a rocky wall on the right side. Numerous long, thin vines hang from the ceiling on the left. The cave floor is covered in green plants and ferns. The text "Indicador 8" and "Diversidad de anfibios y reptiles" is overlaid in white.

Indicador 8

Diversidad de anfibios y reptiles

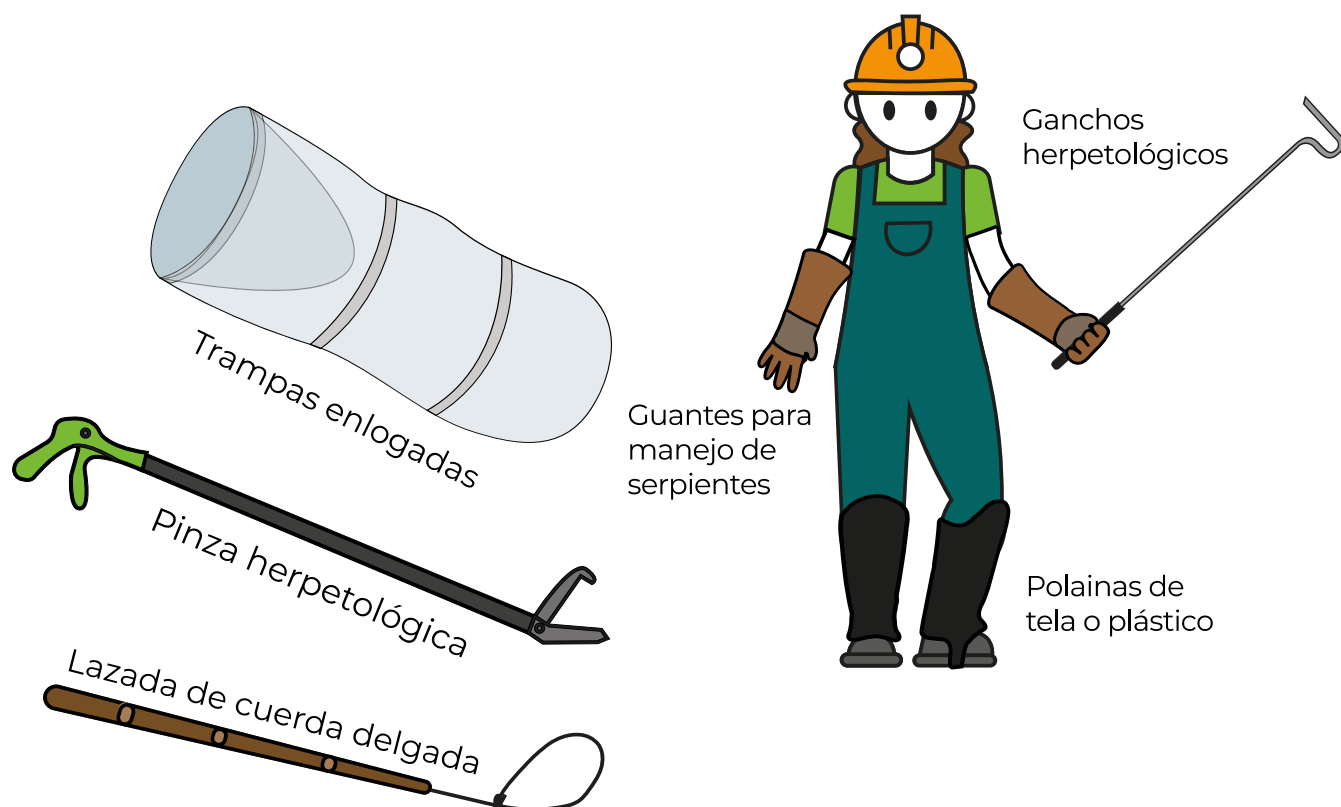


Antes de iniciar el monitoreo es muy importante que se cuente con el equipo de protección para reptiles (guantes para manejo de serpientes, ganchos herpetológicos y polainas de tela o de plástico) con el fin de evitar cualquier accidente que ponga en peligro la integridad del personal que realiza monitoreo. Para el caso específico de los anfibios, siempre se deberán utilizar guantes desechables para su manipulación. Si se aíslan los individuos deberá hacerse en bolsas de plástico no reutilizables y posteriormente se desinfectarán las manos.

Asimismo, es de vital importancia que, para evitar el contagio de enfermedades entre anfibios, el equipo de monitoreo (como redes, mangas, trampas, botas, bandejas)

sea desinfectado con lejía (4 %), formol al 40 %, etanol al 70 % u otros desinfectantes comerciales antes, durante y después de las capturas de los individuos. La desinfección debe hacerse en el campo para evitar la dispersión del patógeno, pero nunca cerca del medio acuático para evitar su contaminación.

Otra recomendación importante para el monitoreo es que, si la determinación taxonómica de los individuos observados no se puede llevar a cabo en campo, se utilice una cámara fotográfica que permita capturar las características particulares de cada individuo y posteriormente, se pueda hacer la determinación con apoyo de un experto o utilizando guías de identificación con las que no se contaban en campo.



Para realizar el monitoreo de la comunidad de anfibios y reptiles se presentan dos métodos: trampas nasa y censo por área. Se recomienda que los recorridos los realicen siempre las mismas personas y que los inicien de manera aleatoria, esto para tratar de disminuir sesgos por la experiencia en campo, imagen de búsqueda y pico de actividad de las especies.



Trampas nasa

• • • • •
• **Nota importante:** coloque las trampas nasa cerca de la superficie, •
• esto reducirá la posibilidad de mortandad de los reptiles capturados. •
• • • • •

64

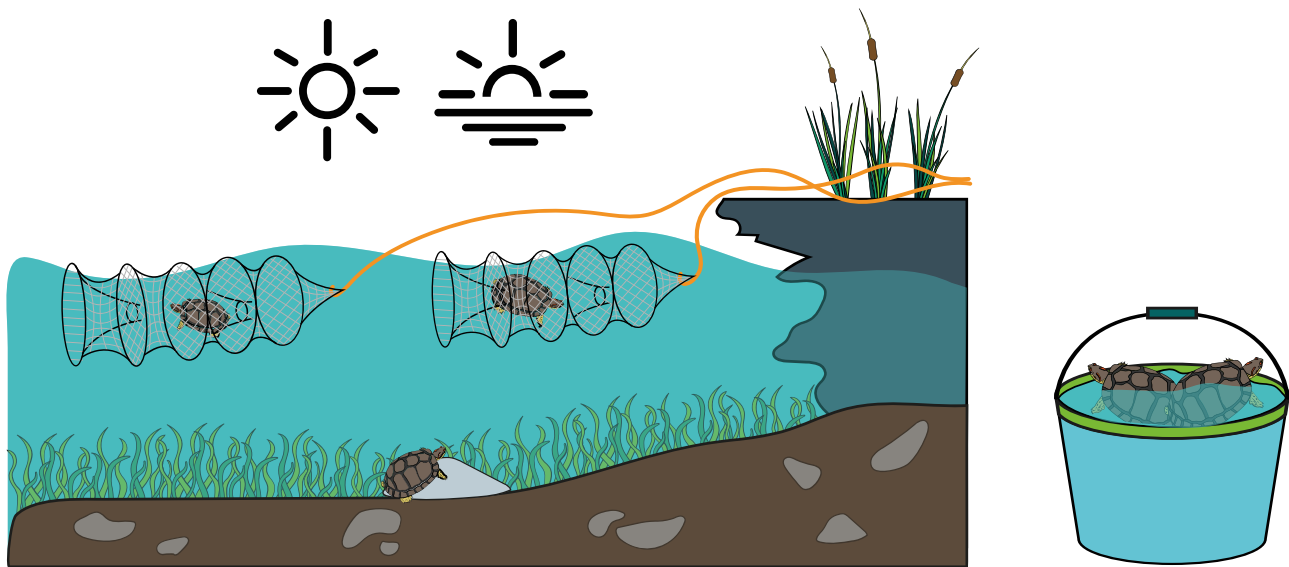
Indicador 8

- 1 Utilice trampas tipo nasa con uno o varios embudos en su interior (formando compartimentos en donde quedan atrapados los individuos) acopladas a una red de desvío.
- 2 Dependiendo del área que desee cubrir, coloque las trampas en el sitio de manera individual o en conjunto.
- 3 Deje instaladas las trampas por varios días y revíselas por la mañana y por la tarde.
- 4 En el caso de que no haya habido capturas en un periodo de 15 días desde el día de su colocación, se desplazarán unos metros dentro del mismo cuerpo de agua.
- 5 Una vez que se capturen los organismos, manténgalos en un contenedor con agua y registre.

- 6 Registre datos.

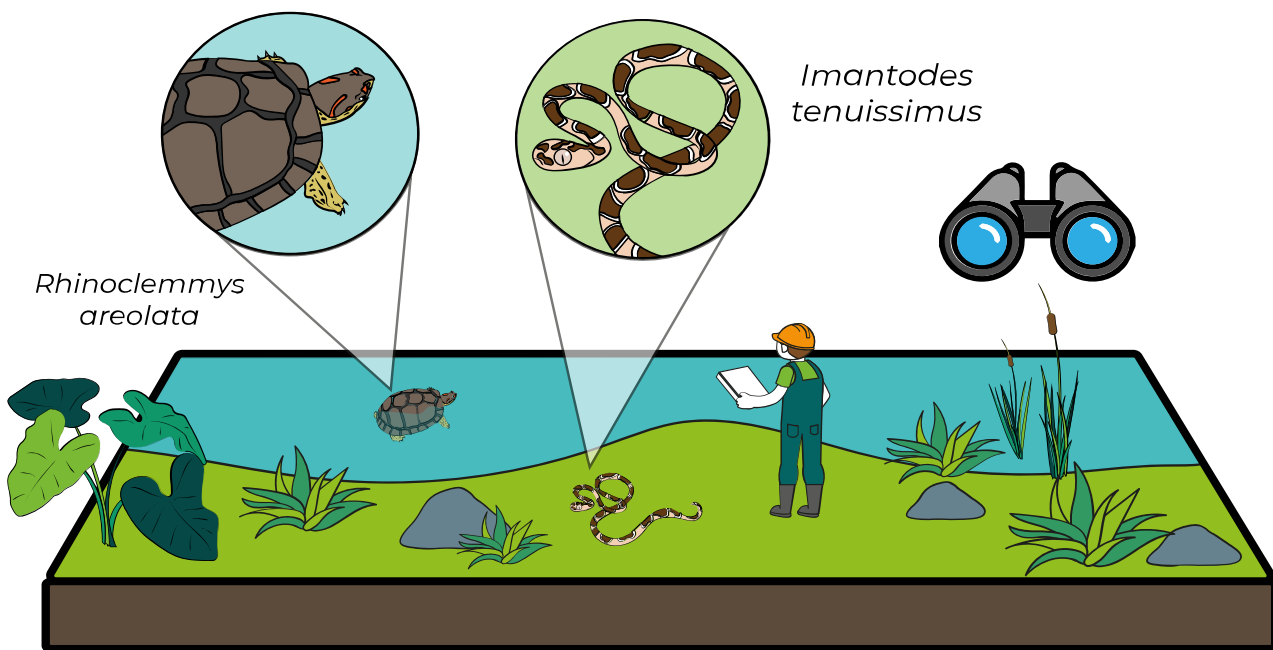
Datos a registrar:

- Coordenada
- Número de trampa
- Género / nombre científico (en caso de conocerlo) o nombre común
- Tipo de ecosistema
- Tipo de vegetación aledaña
- Número de foto
- Peso
- Sexo
- Medidas morfométricas:
 - **Anfibios:** (a) longitud hocico-cloaca y (b) longitud de la cola
 - **Reptiles:** (a) longitud hocico-cloaca, (b) longitud cola y (c) longitud total
- Indique si corresponde a una especie nativa o exótica-invasora
- Número de horas invertido en el muestreo por uno o todos los observadores
- Observaciones



Captura directa

- 1 Realice un censo completo intensivo de todos los anfibios y reptiles que observe en el sitio.
- 2 De ser posible, captúrelos para la medición de los datos previamente enlistados.

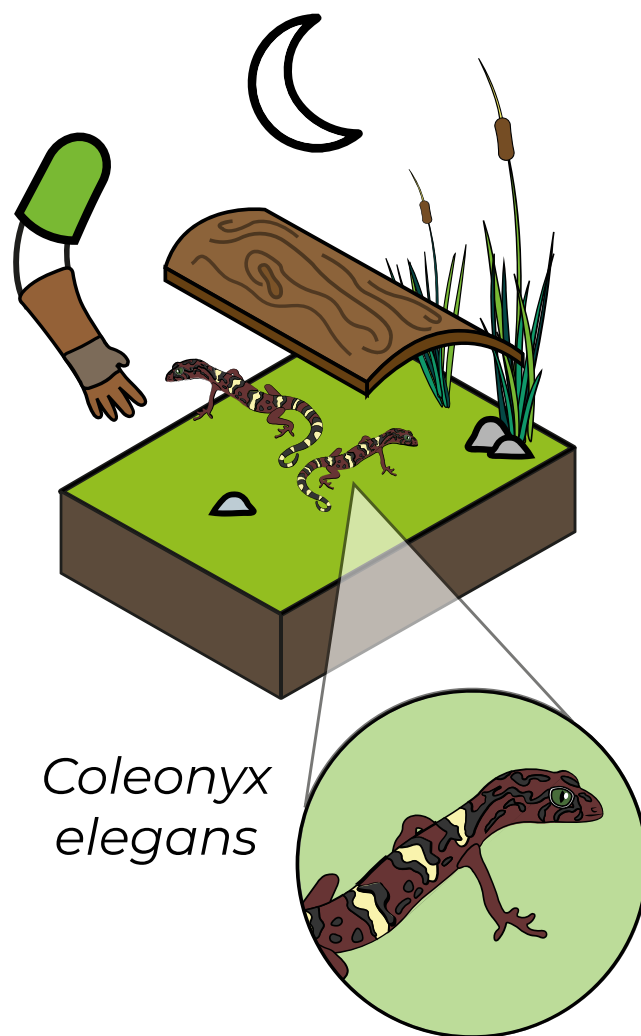


3 Para la captura de adultos y larvas de anfibios resulta útil una red con cabo de madera o metal. Realice las colectas durante la noche, asimismo puede capturar individuos como salamandras y pequeñas ranas de hojarasca levantando troncos podridos, rocas y removiendo hojarasca acumulada en el suelo, capturando los ejemplares con la mano, después se deben colocar los troncos y las rocas como estaban en su estado original.

4 Si no es posible su captura para la medición, registre los siguientes datos.

Datos a registrar:

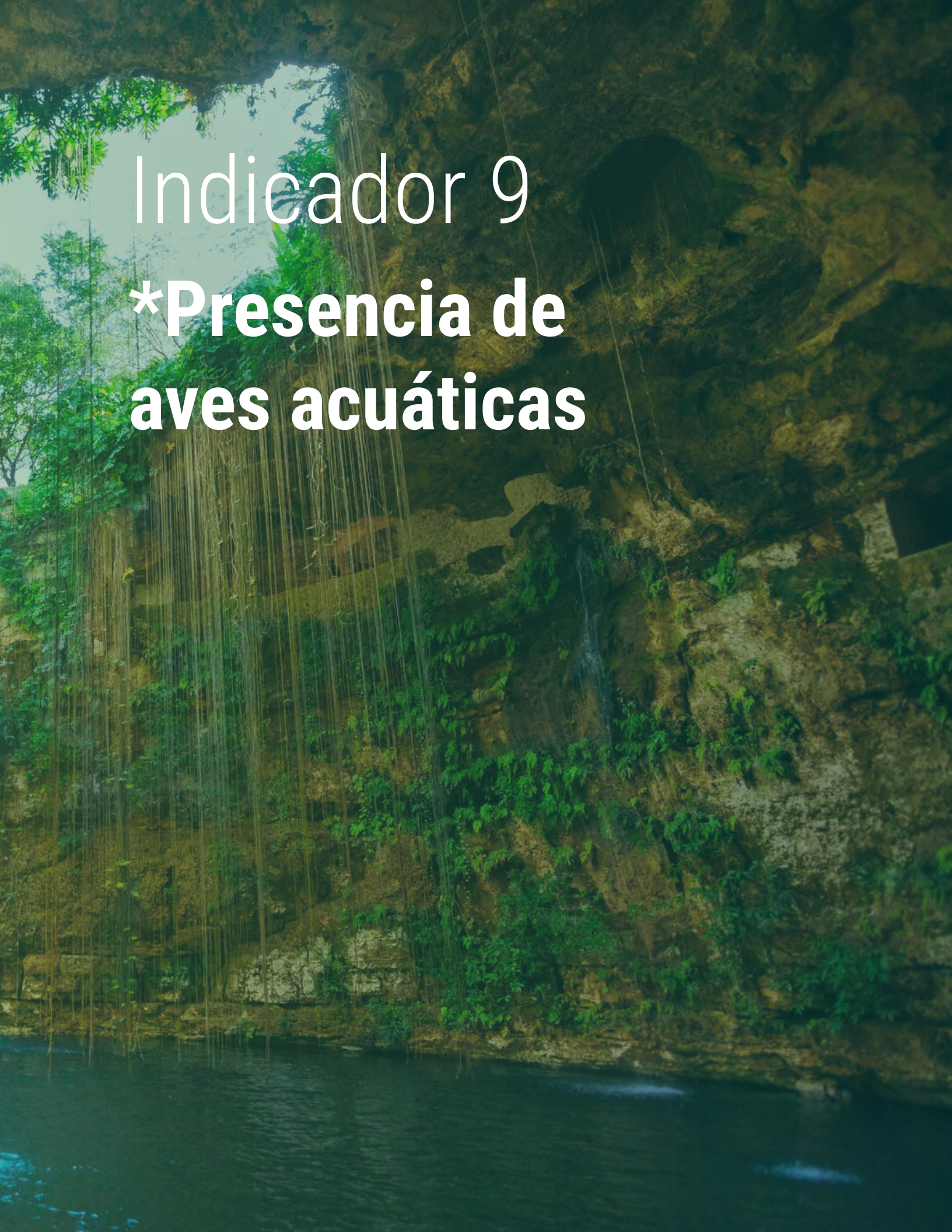
- Localidad
- Número de individuos por especie (nombre científico) observados
- Número de la fotografía de las especies observadas durante el monitoreo



Basado en:

- Angulo A., J. V. Rueda-Almonacid, J. V. Rodríguez-Mahecha y E. La Marca (Eds) (2006). *Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la región tropical andina*. Conservación Internacional. Serie Manuales de Campo N° 2. Panamericana Formas e Impresos S. A., 298.
- Becker, C. G.; Fonseca, C. R.; Baptista-Haddad, C. F.; Fernández-Batista, R.; Prado, P. I. (2007). Habitat Split and the Global Decline of Amphibians. *Nature*, 318, 1775–1777.
- Beebee, T. J. C. y Griffiths, R. A. (2005). The Amphibian Decline Crisis: A Watershed for Conservation Biology? *Biological Conservation*. 125, 271–285.
- Channing, A. (1998). *Tadpoles as bio-indicators of stream quality: A baseline study*. University of the Western Cape. 94.
- Flores-Villela, O. (1991). *Análisis de la Distribución de la Herpetofauna de México*. Ph. D. Thesis, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Flores-Villela, O.; García-Vázquez, U. O. (2014) *Revista mexicana de Biodiversidad de Reptiles en México*. Rev. Mex. Biodivers, 85, 31.
- Gardner, T. A., Barlow, J. y Peres, C. A. (2007). Paradox, Presumption and Pitfalls in Conservation Biology: The Importance of Habitat Change for Amphibians and Reptiles. *Biological Conservation*. 138, 166–179.
- Gibbons, J. W., Scott, D. E., Ryan, T. J., Buhlmann, K. A., Tuberville, T. D., Metts, B. S., Greene, J. L., Mills, T., Leiden, Y., Poppy, S., et al. (2000). The Global Decline of Reptiles, Déjà Vu Amphibians: Reptile Species are Declining on a Global Scale. Six Significant Threats to Reptile Populations are Habitat Loss and Degradation, Introduced Invasive Species, Environmental Pollution, Disease, Unsustainable Use, and Global Climate Change. *Bioscience*, 50, 653–667.
- Olea, G. P.; Flores-Villela, O.; Almeralla, C. M. (2014). *Revista mexicana de Biodiversidad de Anfibios en México*. Rev. Mex. Biodivers, 85, 33.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación) (2013). *Propuesta de Indicadores para el Programa de Monitoreo Ecológico en el Ámbito de Ecosistemas de Aguas Continentales*. <https://canjeporbosques.org/wp-content/uploads/2017/07/Informe-Final-1.pdf>



A photograph of a cave entrance. A waterfall flows from the top of the cave, creating a curtain of water. Numerous long, thin vines hang from the cave ceiling, some reaching down to the water. The cave walls are rocky and covered in green moss and small plants. The water at the bottom of the cave is dark and still.

Indicador 9

***Presencia de aves acuáticas**

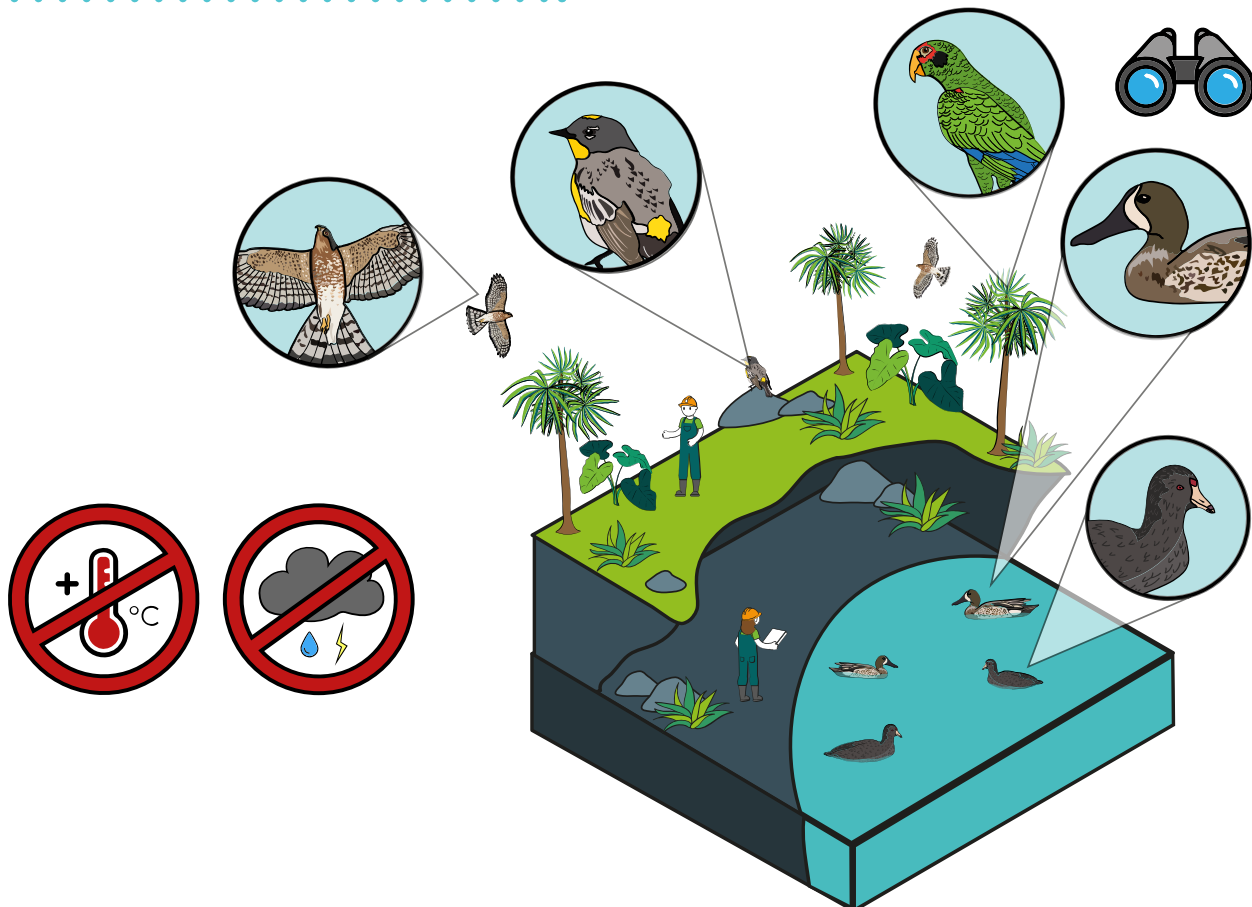


- 1 Seleccione un lugar en el que tenga buena visibilidad, espere 2 minutos antes de empezar a registrar las aves observadas, ya que la presencia humana puede perturbar a las aves y se debe esperar a que se adapten a su presencia.
- 2 Pasados los 2 minutos, con ayuda de binoculares realice un censo completo intensivo de todas las aves que observe en el sitio durante 10 minutos.
- 3 Registre datos.

• **Nota importante:** de preferencia realizar el monitoreo por la mañana, evitando condiciones adversas, como lluvia, neblina o temperaturas extremas.

Datos a registrar:

- Número de individuos observados por especie (nombre científico)
- Indique si corresponde a una especie migratoria o residente
- Para cada individuo observado, indique qué actividad se encuentra realizando (alimentándose, descansando, vuelos de cortejo, anidando o reproduciéndose)
- Si el individuo se encuentra alimentándose registre el tipo de alimento: insectos, peces, frutas, néctar, carroña, cangrejos, organismos del sedimento
- Fotografías de las especies observadas durante el monitoreo
- Observaciones



Basado en:

- American Ornithologists' Union (AOU) (1998). *Check-list of North American birds*. 7th ed. American Ornithologists' Union.
- Arizmendi, M. C. (2001). Multiple ecological interactions: nectar robbers and hummingbirds in a highland forest in Mexico. *Canadian Journal of Zoology*, 79, 997-1006.
- Gill, F. y Donsker, D. (eds.), (2013). *IOC World Bird Names (version 3.4)*. <https://www.gbif.org/dataset/db251eaf-ccc4-4249-9ae1-ba7546dc1681/metrics>
- Navarro-Sigüenza, A. G., Rebón-Gallardo, M. F., Gordillo-Martínez, A., Peterson, A. T., Berlanga-García, H., y Sánchez-González, L. A. (2014). Biodiversidad de aves en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, 476-495.
- Şekercioğlu, C. H., Daily, G. C. y Ehrlich, P. R. (2004). Ecosystem consequences of bird declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101, 18042-18047.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación) (2013). *Propuesta de Indicadores para el Programa de Monitoreo Ecológico en el Ámbito de Ecosistemas de Aguas Continentales*. <https://canjeporbosques.org/wp-content/uploads/2017/07/Informe-Final-1.pdf>

Indicador 10

***Presencia de mamíferos
asociados a cenotes**



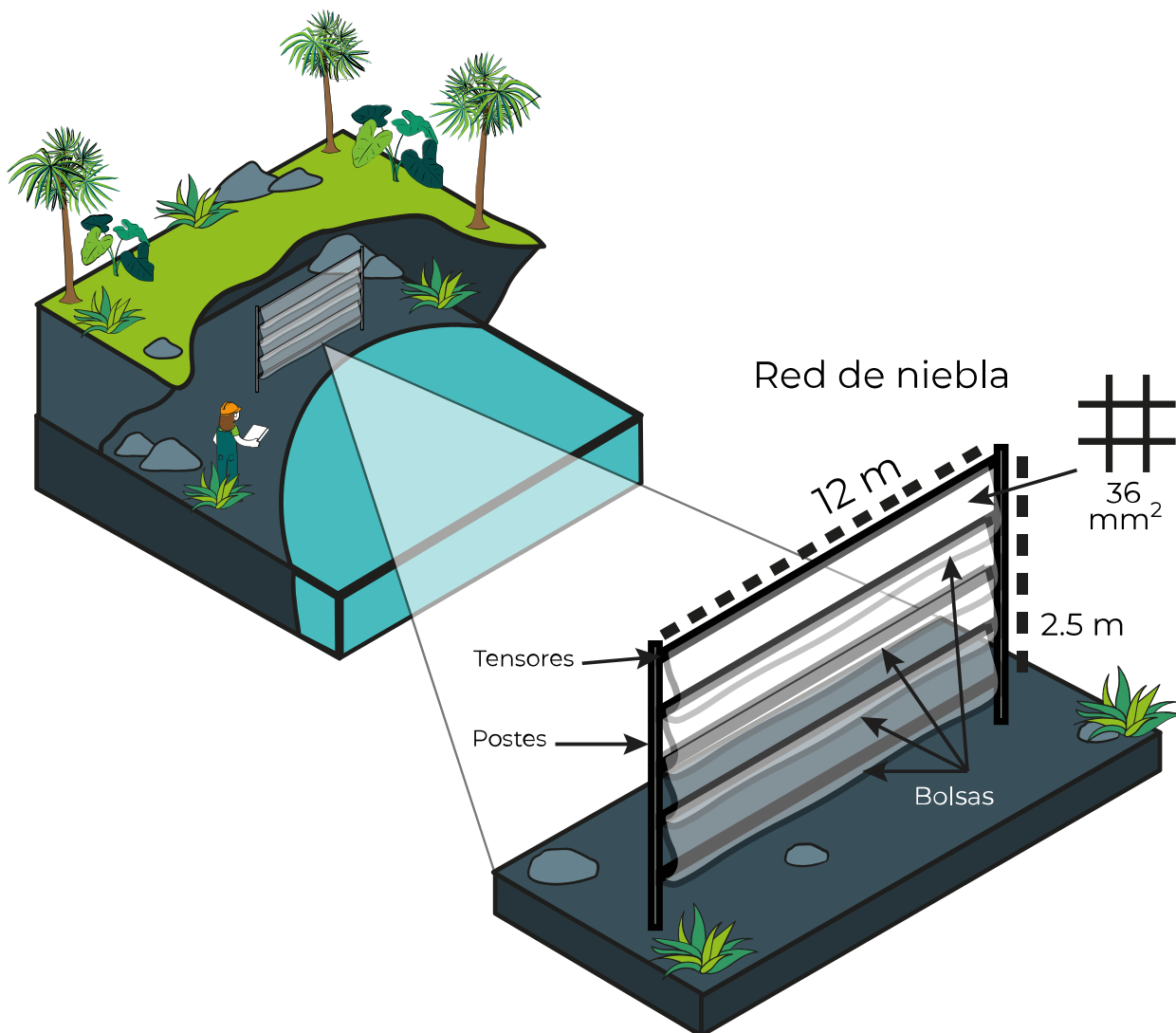


Se utilizan muestreos directos a partir de la captura de individuos y muestreos indirectos por medio del detector ultrasónico, fototruampas y muestreo de rastros.

Registro de murciélagos

Las redes de niebla se deberán adecuar al área de estudio, si es un sitio amplio se elegirá una red de gran tamaño o en caso contrario una red pequeña. Se recomiendan redes de 36 mm de malla, 12 m de largo por 2.5 m de alto, colocadas a nivel del sotobosque y del dosel bajo.

Para la instalación de las redes se buscan sitios potenciales de vuelo tratando de abarcar la mayor cantidad de hábitats posibles: cauces de quebradas, interior del bosque, caminos o bordes del bosque, espacios abiertos contiguos a los cuerpos de agua. Se recomienda colocarlas en línea recta y utilizar, al menos, una red por noche.



1 Las redes abrirán y permanecerán activas desde las 18:00 h hasta las 23:30 h aproximadamente, siempre y cuando las condiciones lo permitan.

2 Se deberán visitar cada 30 - 45 min dependiendo de la frecuencia de captura de los individuos y de las condiciones meteorológicas.

3 Cada red permanece en un mismo sitio durante 2 noches consecutivas, ya que después de ese tiempo disminuye la probabilidad de captura.

4 En caso de que el número de capturas no disminuya y se continúe registrando especies diferentes, o cuando la disponibilidad de sitios para la colocación de redes es baja, las redes permanecen en el mismo sitio hasta cinco noches consecutivas.

5 Apóyese en guías de campo y claves para la determinación de especies.

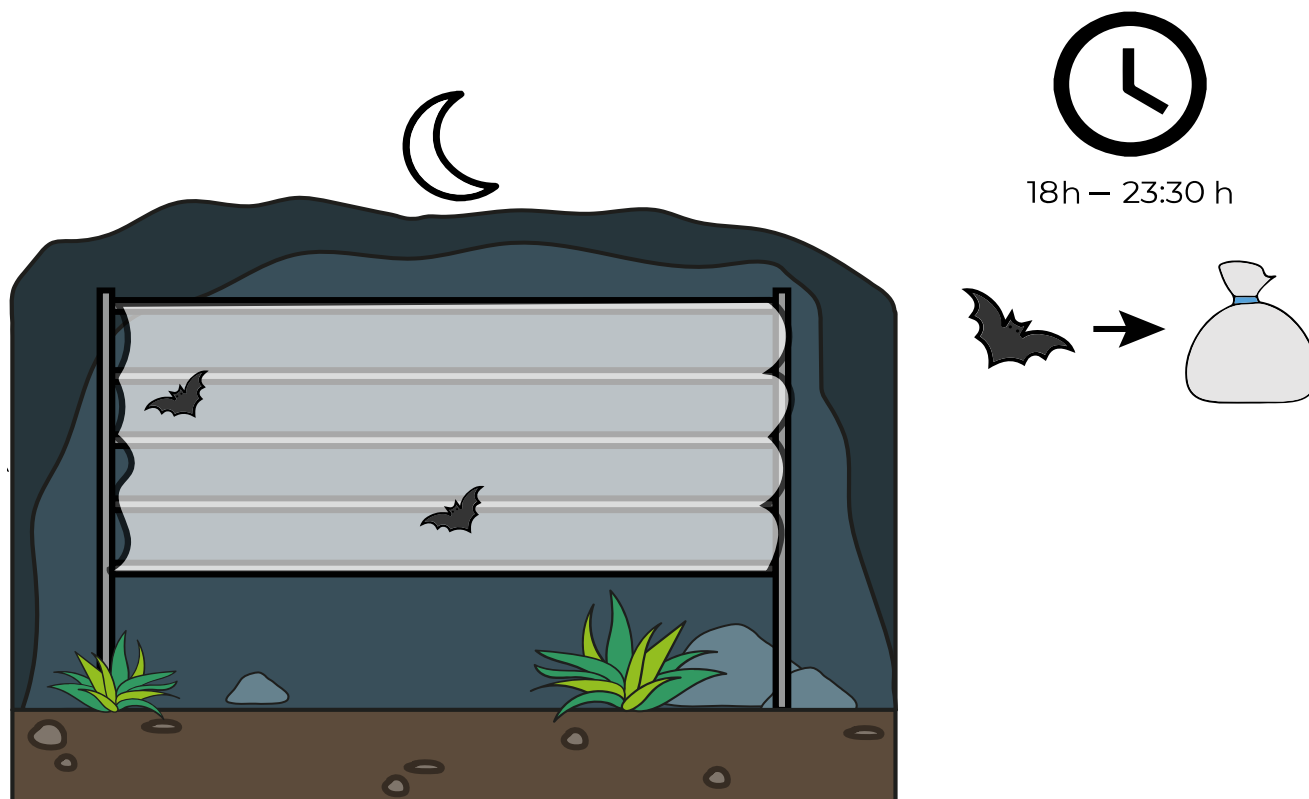
6 Registre datos.

Datos a registrar:

- Número de red
- Coordenadas de las redes
- Hora
- Especie
- Sexo y condición reproductiva
- Medida de antebrazo
- Peso
- ID de las fotografías de las especies observadas durante el monitoreo
- Observaciones

76

Indicador 10

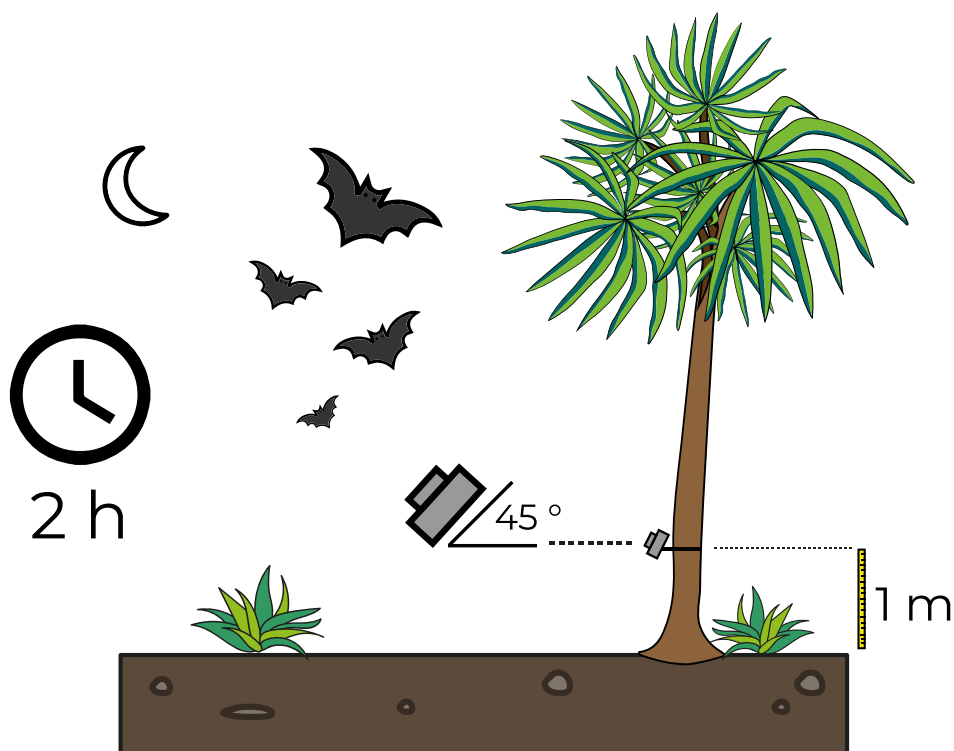


Detector ultrasónico

De manera complementaria, si se cuenta con el equipo se colocará un detector ultrasónico y se registrarán dos horas de grabación continua.

- 1** Los detectores se colocan en un ángulo de 45° y a una altura de 1 m con respecto al suelo, orientados hacia donde se encuentra el paso de los murciélagos.
- 2** El detector se conecta a una computadora portátil para programarlo.
- 3** Los sonidos de alta frecuencia se graban en intervalos de un minuto a 16-bit usando el programa Avisoft-sasLasb Pro Avisoft-recorder (Avisoft Bioacoustics, Berlin, Alemania) y el análisis de cada grabación se realiza más adelante con el programa BatSound Pro (Pettersson Elektronik AB, Uppsala, Suecia) para examinar los sonogramas.
- 4** Las especies registradas se identifican al comparar los sonogramas con una biblioteca de sonidos.
- 5** Registre datos (página 76).

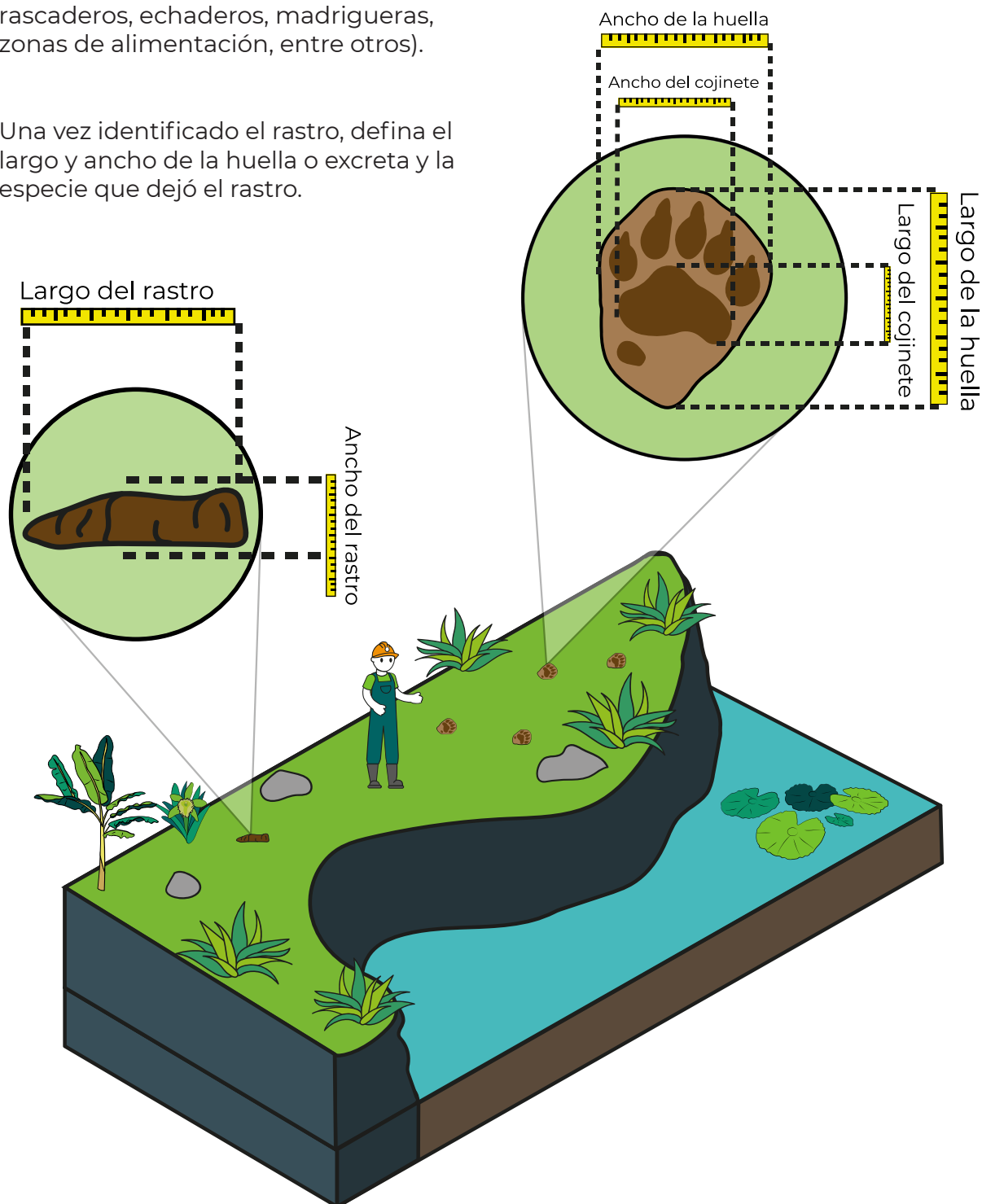
Este método se propone como complementario al muestreo por redes de niebla debido a que no siempre se cuenta con estos equipos y a que no es frecuente la detección de filostómidos. Dicho lo anterior, se recomienda usar las marcas de detectores ultrasónicos propuestas por el Sistema Nacional de Monitoreo Biológico (SNMB).



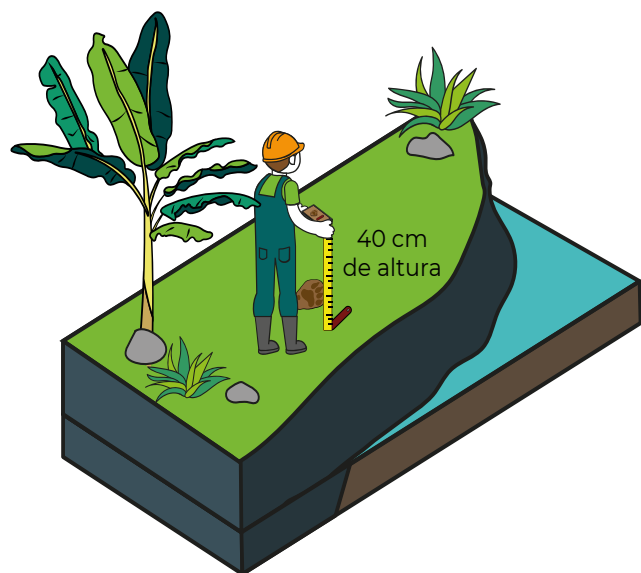
Muestreo de rastros

1 Recorra el área aledaña al cenote y registre todos los rastros que se observen (huellas, excretas, rascaderos, echaderos, madrigueras, zonas de alimentación, entre otros).

2 Una vez identificado el rastro, defina el largo y ancho de la huella o excreta y la especie que dejó el rastro.



3 Es importante que si existe una serie de rastros de un mismo individuo solo se registre una vez. Igualmente, tome una fotografía del rastro a 40 cm de altura, con un objeto (de preferencia una regla) que indique la escala a un lado.



4 Registre el rastro sin importar si es de especie silvestre o doméstica.



5 Después de tomar la fotografía borre el rastro para evitar que se repita el registro.

6 Para el caso de huellas poco reconocibles, se puede obtener un molde de yeso de fraguado rápido.

7 Registre datos.

Datos a registrar:

- Coordenadas del rastro
- Especie presunta
- Indique si es especie exótica
- Tipo de rastro (huellas, excretas, rascaderos, echaderos, madrigueras, zonas de alimentación, entre otros)
- **Medida del rastro para huellas y excretas:** largo, ancho y diámetro (para excretas)
- **Para el caso de huellas:** definir si delantera o trasera
- Fotografía con escala y con número de registro
- Observaciones

Fototrampeo

Para realizar el fototrampeo deberá seleccionar un sitio representativo del cuerpo de agua y donde se han registrado con anterioridad rastros de vertebrados mayores para aumentar la probabilidad de detección de individuos.

1 Tome en cuenta que el cuerpo representa la unidad de muestreo.

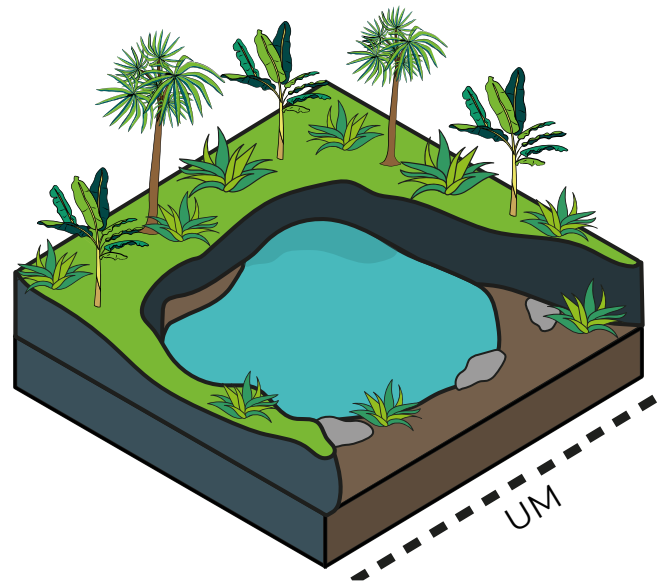
2 Por cada estación de muestreo se deberá utilizar al menos una fototrampa.

3 Una vez en el sitio, programe la fototrampa con las siguientes especificaciones:

- **Fecha y hora:** asegurarse que la fecha y hora sean correctas, ya que esto es básico para la captura de datos. Seleccionar la opción de etiquetar las fotos con fecha y hora.
- **Modo de captura:** seleccione modo de detección continua (día y noche), retraso de 1 minuto entre eventos, dos fotografías seguidas y un video con 20 segundos de continuación.
- **Resolución de imagen:** la mayor permitida por la fototrampa.

4 En el caso de que el cenote o cuerpo de agua sea abierto, y llegue la luz del sol de manera directa, es importante que la orientación de las fototruampas sea en dirección norte o sur, para evitar los rayos directos del sol.

5 Una vez escogido el lugar donde se pondrá la fototrampa, busque un tronco en donde colocarla a una



distancia de 2 m del cuerpo de agua o paso de fauna de interés.

6 Coloque la fototrampa a una altura aproximada de 40 cm del suelo para que pueda detectar especies de diferentes tamaños. De preferencia, la fototrampa debe tomar $\frac{1}{3}$ de suelo y $\frac{2}{3}$ de paisaje.

7 Cuando se instale, asegúrese de que esté reconociendo el movimiento a la altura deseada. Para ello, una persona debe pasar gateando por el sitio en que se espera que pasen los animales y se debe asegurar que la cámara se active.

8 Adicionalmente, limpie el terreno frente a la fototrampa para que no haya ramas u hojas que puedan activarla con su movimiento.

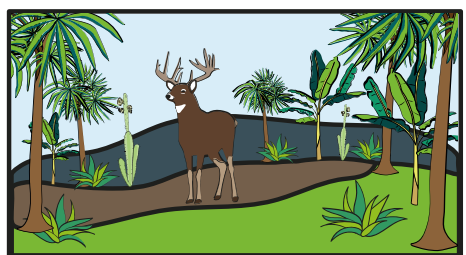
9 No utilice cremas o lociones con aroma, ya que se puede dejar impregnado el olor y modificar la conducta de los organismos.

10 Registre datos.

Nota importante: se recomienda que las fototampas permanezcan activas un año. Si no es posible, al menos tres meses (marzo a mayo) con visitas periódicas para reponer baterías y obtener la información.

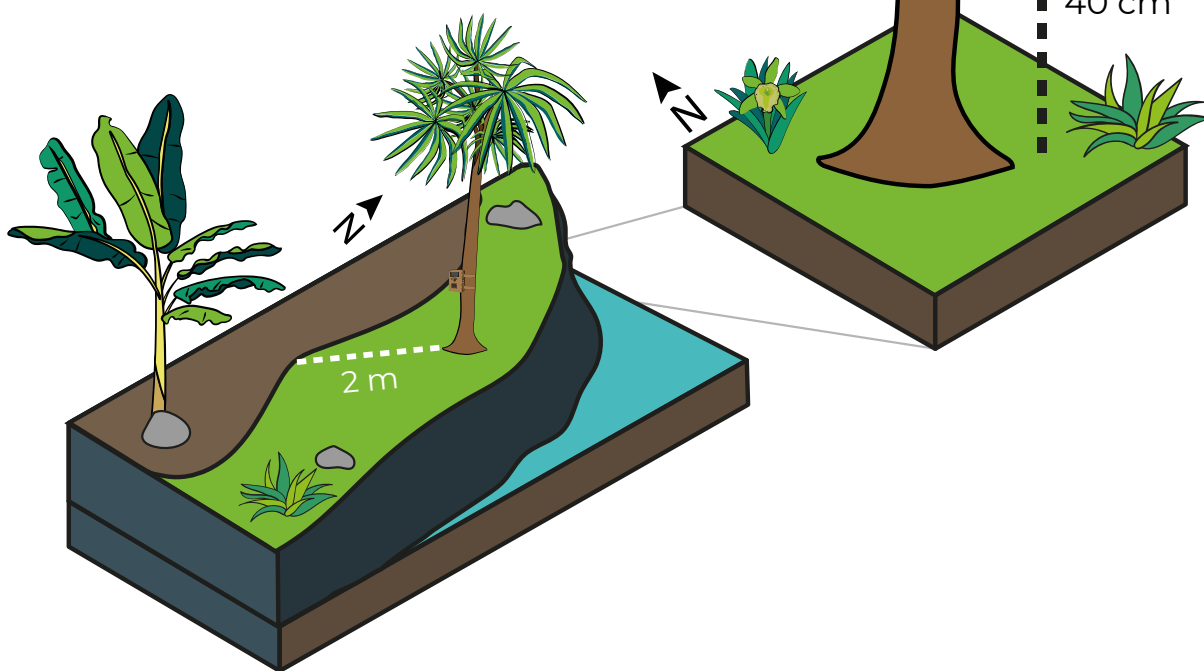
Datos a registrar:

- ID de fototrampa
- Coordenadas
- Esfuerzo de muestreo (fecha de colocación y obtención de información de la fototrampa)
- Observaciones



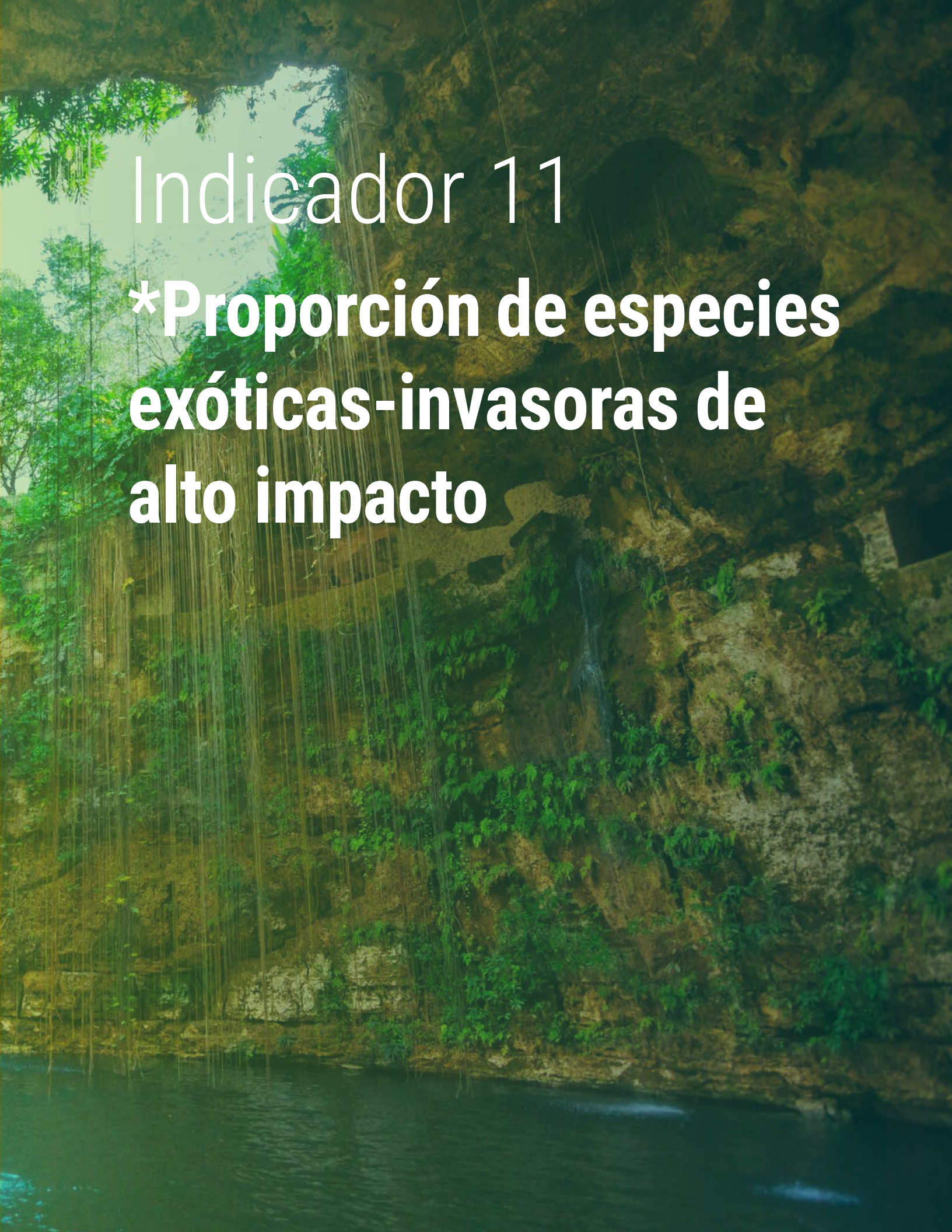
2/3 paisaje

1/3 suelo



Basado en:

- Medellín, R. A., y Viquez-R, L. R. (2014). Los murciélagos como bioindicadores de la perturbación ambiental. *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental*. Editorial S y G, 521-539.
- Sosa-Escalante, J., y Chablé-Santos, J. (2013). Conservación y manejo de los cenotes. En *Ordenamiento territorial del estado de Yucatán: visión, 2030*, Universidad Autónoma de Yucatán. Gobierno del Estado de Yucatán, 63-74.
- Reyna-Hurtado, R., Radachowsky, J., Mcloughlin2, L., Thornton, D., Moreira-Ramírez J. F., García-Anleu, R., Ponce-Santizo, G., McNab, R., Díaz-Santos, F., Elvir, F., Portillo-Reyes, H. O., Moreno, R., Meyer, N., Artavia, A., Amit, R., Hofman, M., Harmsen B. J., Castañeda, F., Sánchez-Pinzón, K., Hernández-Pérez, E., Martínez, W., Polisar, J. (2016). Rapid. *Decline of White-lipped Peccary Populations in Mesoamérica*. Report based on the 1st Symposium on white-lipped peccary in Mesoamerica. ECOSUR-WCS-WASHINGTON STATE UNIVERSITY-PECCARY SPECIALIST GROUP. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0006320719316040?token=A2AFB06B87634037F0959C6EC3832BF5F90512BA5BF64D2FC9976B2F67A54A784D5961DEB04B77EDBE94E8947CAF7C-3C&originRegion=us-east-1&originCreation=20220929160251>



Indicador 11

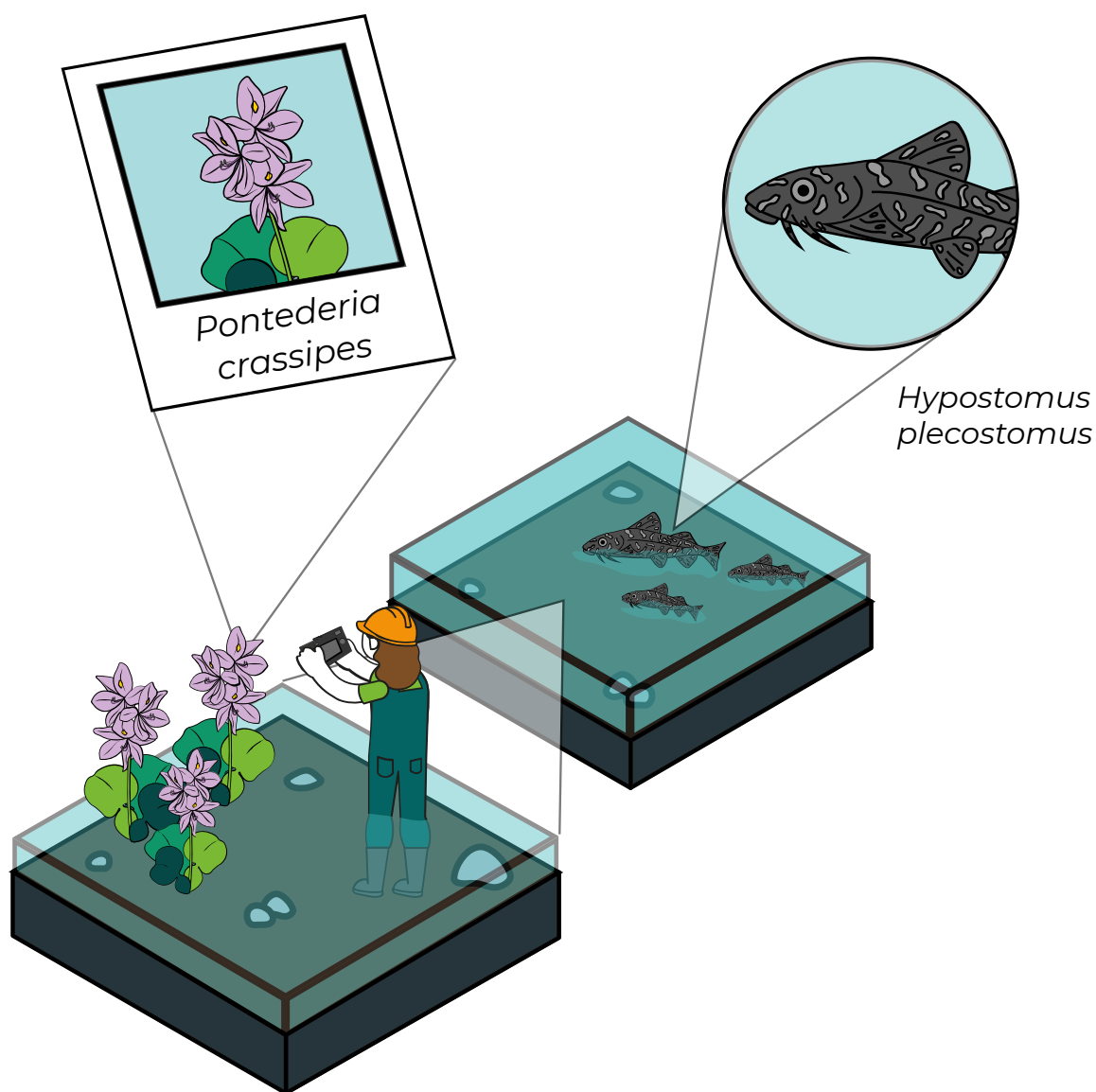
***Proporción de especies
exóticas-invasoras de
alto impacto**



- 1** La medición de este indicador se llevará a cabo durante el monitoreo de los distintos componentes de vegetación, fauna y estado de conservación del cuerpo de agua.
- 2** En caso de registrar la presencia de alguna especie exótica-invasora durante el monitoreo, tome fotografías.
- 3** Registre datos.

Datos a registrar:

- Coordenadas geográficas del avistamiento de la especie
- Nombre científico (si lo conoce) o nombre común
- Número de individuos observados
- Fotografías del individuo
- **Observaciones generales del avistamiento:** actividad (alimentación, forrajeo, reproducción, descanso, entre otras), tipo de vegetación, entre otras)



Basado en:

- 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.
- Woodley, S. (2010). Integridad ecológica y parques nacionales de Canadá. En *The George Wright Forum* (vol. 27, núm. 2, págs. 151-160). Sociedad George Wright.

Indicador 12

***Riesgo de degradación de cenotes**





Para el monitoreo de este indicador se proponen dos métodos complementarios: el cálculo del índice de riesgo de degradación de cenotes y la comparación de imágenes satelitales de la vegetación circundante de los cenotes.

Índice de riesgo de degradación de cenotes

Este índice se define como la probabilidad de daño, alteraciones o cambios negativos, a los rasgos y cualidades de los elementos geológicos, biológicos y culturales presentes en un cenote. Para el cálculo de este índice recomendamos seguir la metodología propuesta por Merlos (2019), compuesta por siete variables o criterios independientes entre sí y que han sido seleccionados específicamente para cenotes (tabla 4).

- 1

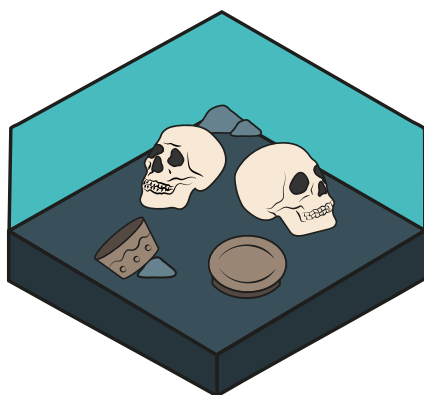
Para realizar el análisis con base en el cálculo del índice de riesgo de degradación, deberá seguir la tabla 4.
- 2

Registre los criterios/indicadores presentes en el cenote monitoreado.

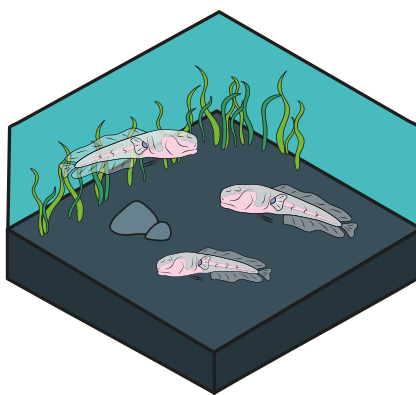
Índice de riesgo de degradación de cenotes
Criterios/Indicadores
A. Presencia de vestigios arqueológicos o elementos culturales
Si. Existencia/presencia de vestigios arqueológicos dentro y alrededor del cenote
Nulo. Sin estudios arqueológicos o reporte de hallazgo de vestigios arqueológicos
No. Ausencia respalda de vestigios arqueológicos
B. Registro de especies acuáticas en peligro de extinción
Si. Existencia/presencia de especies acuáticas en peligro de extinción
Nulo. Sin estudios o reportes de presencia de especies acuáticas en peligro de extinción
No. Ausencia de especies acuáticas en peligro de extinción
C. Suma del número de atributos físico/biólogos observados en el cenote
Mayor a cuatro atributos
De tres a cuatro atributos
Menor a tres atributos

D. Tipo de lugar
Grupo 1. Parador turístico, vivienda o inmune, rancho, hacienda o zona arqueológica
Grupo 2. Monte (sabana, ciénega, laguna, petén, selva, manglar, plantío, cantera o vías de comunicación)
E. Tipo de cenote
Semi-abierto de caída libre
Cerrado dentro de gruta
Abierto de caída libre
Abierto a flor de tierra
F. Control de acceso
No. Ausencia de rejas, puertas, alambrado, vigilancia, entre otros, para el acceso al cenote
Si. Control de acceso (presencia de los elementos anteriormente descritos)
G. Paso por terracería
No. Ausencia de terracería o camino no pavimentado para el arribo al cenote
Si. Presencia de terracería (criteríos anteriormente definidos)

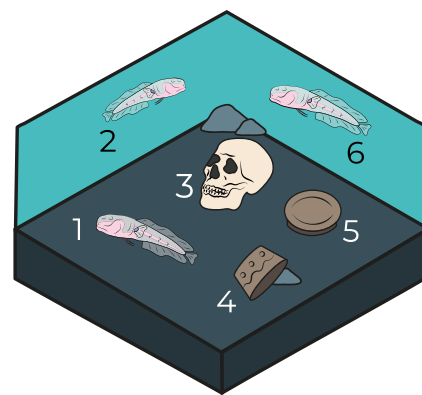
Tabla 4. Composición del índice de riesgo de degradación de cenotes. Criterios y pesos asignados.
Fuente: Merlos, (2019) 35 pp.



A. Presencia de vestigios arqueológicos o elementos naturales



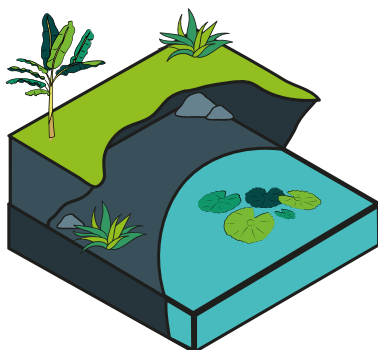
B. Registro de especies acuáticas en peligro de extinción



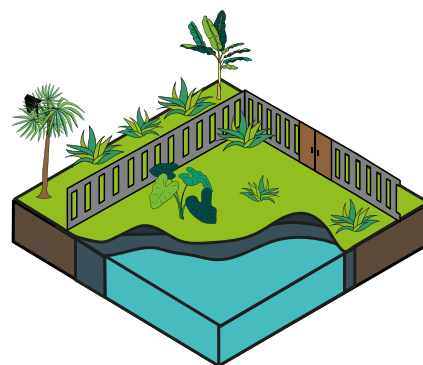
C. Suma de número de atributos físico/biológicos observados en el cenote



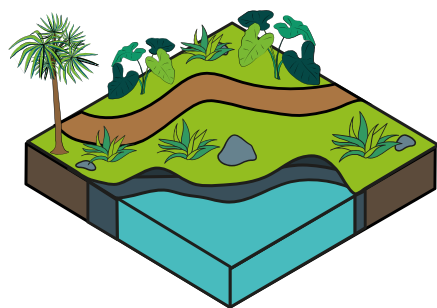
D. Tipo de lugar



E. Tipo de cenote o cuerpo de agua subterráneo



F. Control de acceso



G. Paso de terracería

Datos a registrar:

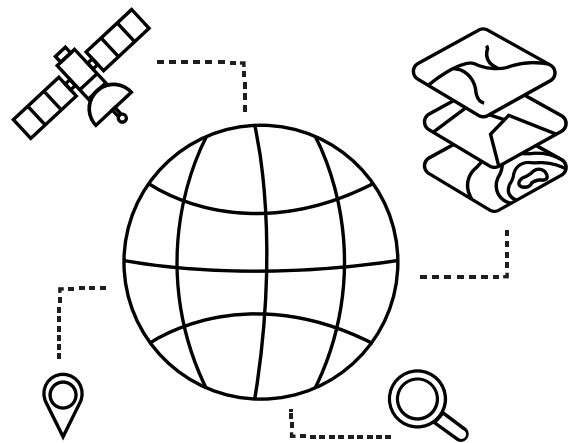
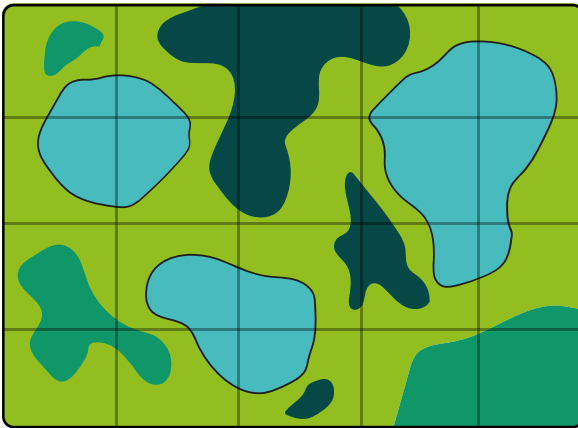
- Coordenadas geográficas del sitio
- Nombre del cenote
- Criterios/indicadores y su valor
- Observaciones

Uso de imágenes o fotografías satelitales

De acuerdo con Merlos (2019), una forma de medir y registrar remotamente los cambios que suceden en torno a los cenotes, es el uso de imágenes o fotografías satelitales. Para ello se recomienda obtener imágenes de los cenotes en diferentes años a través del servidor de Google Earth Pro o de otras plataformas como Global Forest Watch. A partir de estas, se deberá de determinar las modificaciones en la cobertura de vegetación debido a fenómenos naturales o impactos antrópicos.

Datos a registrar:

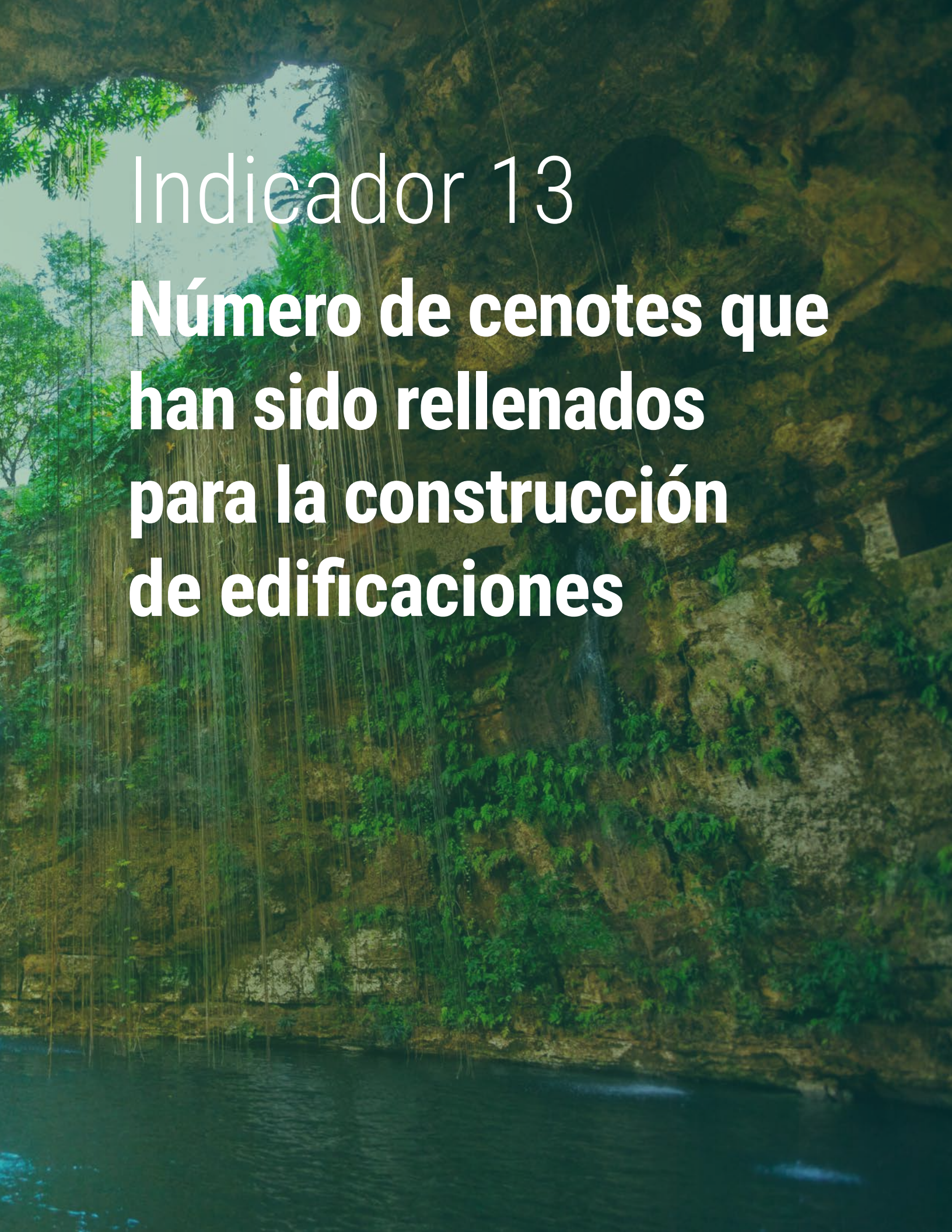
- Coordenadas geográficas del sitio
- Nombre del cenote
- Imágenes satelitales de los años que se estén comparando
- Periodo de tiempo que se esté comparando
- Cambios identificados
- Área afectada en m² o hectáreas
- Observaciones



Basado en:

- Martínez-Díaz, M., Merediz G., Palacios Vázquez, A. L., Valadez-Huerta, G., García-Ramírez, G. (2018). *Guía de buenas prácticas para la conservación y buen uso de los cenotes y sus cuevas en la Península de Yucatán*. Amigos de Sian Ka'an. https://www.researchgate.net/publication/338411948_Guia_de_Buenas_Practicas_para_la_Conservacion_y_Uso_de_los_Cenotes_y_sus_Cuevas_en_la_Peninsula_de_Yucatan#fullTextFileContent.
- Merlos. R. (2019). *Propuesta para el manejo de indicadores y estrategias para el manejo de cenotes con uso turístico en Yucatán* [Tesis de licenciatura]. Facultad de ciencias, UNAM. <http://132.248.9.195/ptd2019/agosto/0794802/0794802.pdf>



The background image shows a natural rock formation with a small waterfall on the right side. Numerous long, thin roots hang down from the top left, creating a curtain-like effect. The rock surface is covered in green moss and small plants. At the bottom, there is a pool of dark water.

Indicador 13

**Número de cenotes que
han sido rellenados
para la construcción
de edificaciones**



Para llevar a cabo el monitoreo de este indicador se recomienda el uso de dos actividades complementarias, la atención y revisión de denuncias de cenotes que se encuentren bajo esta presión y recorridos en campo.

Atención y revisión de denuncias

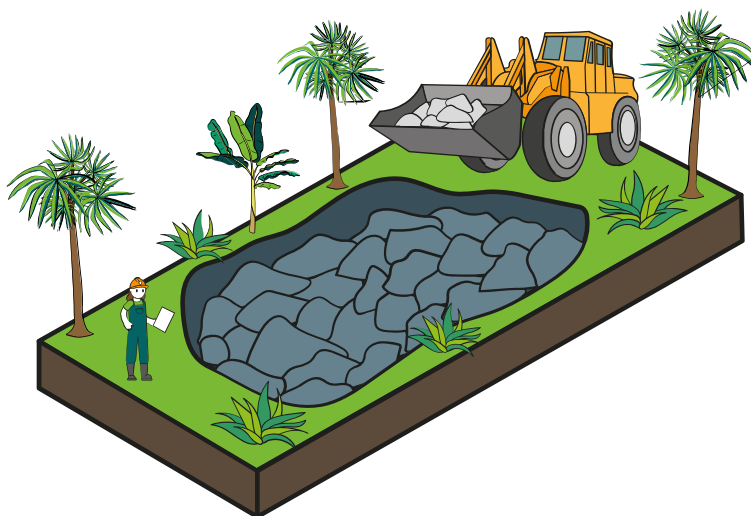
- 1** Identificar sitios, páginas, perfiles, en redes sociales, en donde se realicen denuncias de afectaciones a cenotes.
- 2** Realizar revisiones periódicas de denuncias en sitios identificados.
- 3** Recurrir a los sitios para registrar datos.
- 4** Registre datos.

Datos a registrar:

- Fecha de la denuncia
- Coordenadas geográficas del cenote perturbado
- Nombre del cenote
- Constructora o actores involucrados en el relleno de los cenotes, siempre y cuando sea posible de obtener esta información
- Actores involucrados en la denuncia
- Cualquier observación relevante
- Número de la fotografía del cenote relleno
- Observaciones

Recorridos en campo

Adicional a la atención de denuncias, se recomienda que durante el monitoreo de otros indicadores se realicen recorridos de vigilancia para identificar de manera visual el estado superficial de los cenotes y prevenir o denunciar su relleno. En caso necesario registrar la información solicitada en el apartado anterior.



Basado en:

- Martínez-Díaz, M., Merediz G., Palacios Vázquez, A. L., Valadez-Huerta, G., García-Ramírez, G. (2018). *Guía de buenas prácticas para la conservación y buen uso de los cenotes y sus cuevas en la Península de Yucatán*. Amigos de Sian Ka'an. https://www.researchgate.net/publication/338411948_Guia_de_Buenas_Practicas_para_la_Conservacion_y_Uso_de_los_Cenotes_y_sus_Cuevas_en_la_Peninsula_de_Yucatan#fullTextFileContent.
- SEMARNAT (2008). Capítulo 6. Agua. Informe de la situación del medio ambiente en México. Edición 2008. *Compendio de estadísticas ambientales*. http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/pdf/cap_6_agua.pdf



Indicador 14

***Presencia de contaminantes**



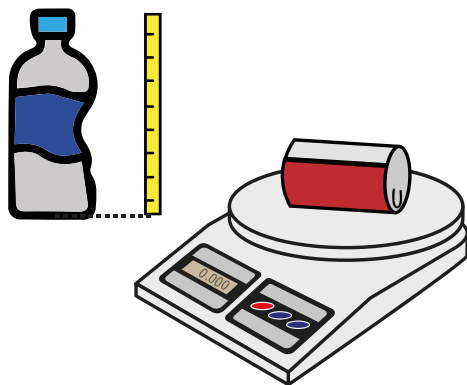
Para el monitoreo de contaminantes se recomiendan diferentes métodos debido a que pueden existir diferentes fuentes de contaminación. Sin embargo, debido a los costos que pueden implicar estos métodos, se recomienda la priorización de la medición de basura.

Basura

- 1 Durante el monitoreo de los diferentes indicadores mencionados anteriormente, registre la presencia de basura en el área.



- 2** Separe, cuente, mida o pese cada pieza recolectada, salvo estructuras de metal, piezas de madera mayores de 1 m² y desechos sanitarios (que se anotan como presentes).



- 4** Registre datos (página 104).



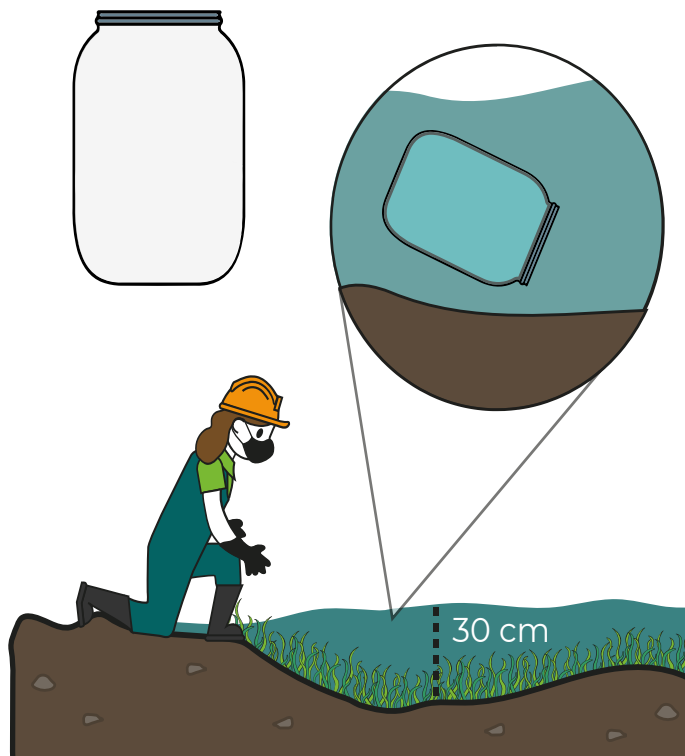
- 3** Clasifique la basura en cinco grupos generales: vidrios, metales, plásticos, materiales celulósicos y otros.

Coliformes

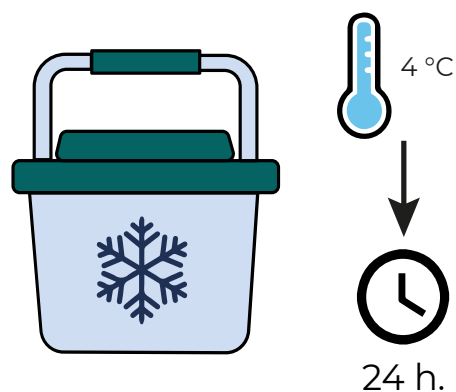
- 1** Se propone el método que indica la Norma Mexicana (NMX-AA-042-SCFI-2015).

- 2** Realice la colecta usando cubrebocas y guantes, muestreé a 30 cm bajo la superficie del agua en frascos estériles de 2 L con tiosulfato de sodio sólido (10 mg/ envase de 100 mL) o con 0.1 mL de disolución estéril al 10 %.

- 3** Posteriormente, coloque en refrigeración a 4 °C con variación de dos grados máximo y procese lo antes de 24 h.

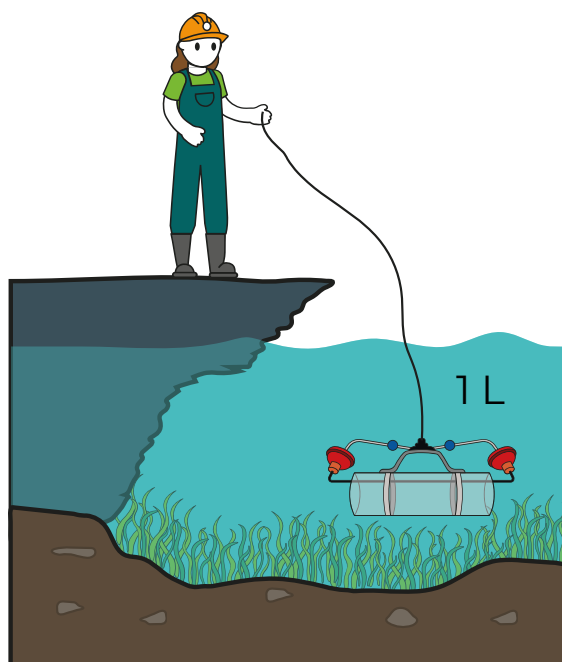


- 4** Realice el análisis de laboratorio siguiendo lo estipulado en norma mexicana (NMX-AA-042- SCFI-2015).
- 5** Llévese los residuos para depositarlos fuera del ANP en un sitio apropiado para ello.
- 6** Registre datos (página 104).



Plaguicidas

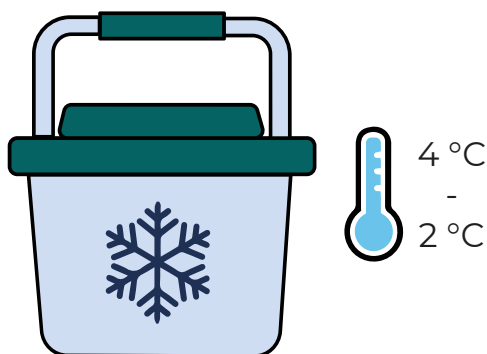
- 1** Realice el muestreo de un 1L de agua por tipo de plaguicida en botellas Van Dorn horizontal.
- 2** Deposite el agua en botellas ámbar estériles.
- 3** Registre datos (página 104).



Hidrocarburos

1 La toma de las muestras debe realizarse de acuerdo con la norma mexicana (NMX-AA-014-1980).

2 Mantenga las muestras a baja temperatura en el transporte al laboratorio (4 °C 4 °C con variación de dos grados máximo y procese.



3 En laboratorio se deberá determinar la presencia de hidrocarburos por medio de cromatografía de gases de acuerdo con Lizardi-Jimenez *et al.* (2015).

4 Registre datos.

Datos a registrar:

- Coordenadas
- Datos sobre basura registrada
- Número más probable según las tablas de la Norma Mexicana (NMX-AA-042-SCFI-2015; p. 12)
- Presencia o ausencia de pesticidas, atrazina y metabolitos y organoclorados
- Presencia de hidrocarburos
- Observaciones

Basado en:

- Alborno-Euán, Beth Sua Iztaccihuatl, y González-Herrera, Roger Amílcar (2017). Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero yucateco bajo escenarios de cambio climático. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 4(11), 275-286. <https://doi.org/10.19136/era.a4n11.1037>
- Martínez-Díaz, M., Merediz G., Palacios Vázquez, A. L., Valadez-Huerta, G., García-Ramírez, G. (2018). *Guía de buenas prácticas para la conservación y buen uso de los cenotes y sus cuevas en la Península de Yucatán*. Amigos de Sian Ka'an. https://www.researchgate.net/publication/338411948_Guia_de_Buenas_Practicas_para_la_Conservacion_y_Uso_de_los_Cenotes_y_sus_Cuevas_en_la_Peninsula_de_Yucatan#fullTextFileContent.
- AOAC (2000). In W. Horwitz (Ed.), *Official methods of analysis of AOAC international* (50). Gaithersburg, MD, AOAC International.
- Borbolla-Vazquez J., Ugalde-Silva P., León-Borges J., Díaz-Hernández J. A. (2020) Presencia de coliformes totales y fecales en cenotes de Cancún. *BioRiesgo* 15: 31-43. <https://doi.org/10.3897/biorisk.15.58455>
- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M., y Paris, M. (2002). *Protección de la calidad del agua subterránea: guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales*. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial.
- Giacomán Vallejos, G., Lizárraga Castro, I., Hernández Núñez, E., y Ponce Cabañero, M. D. C. (2017). *Presencia de plaguicidas en el acuífero cárstico entre los municipios de Mérida a Progreso, Yucatán, México*. Centro Azúcar, 44(3), 1-13. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v44n3/caz01317.pdf>
- Lizardi-Jiménez, M. A., Leal-Bautista, R. M., Ordaz, A., & Reyna-Velarde, R. (2015). Airlift bioreactors for hydrocarbon water pollution remediation in a tourism development pole. *Desalination and Water Treatment*, 54(1), 44-49.
- Medina-Moreno, S. A., Jiménez-González, A., Gutiérrez-Rojas, M., y Lizardi-Jiménez, M. A. (2014). Estudios de contaminación por hidrocarburos en cenotes de Quintana Roo relacionada al desarrollo turístico en el Caribe Mexicano. *Revista mexicana de ingeniería química*, 13(2), 509-516.
- Norma Mexicana NMX- AA-042- SCFI-2015 (2015). Análisis de agua. *Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y Escherichia coli. Método del número más probable en tubos múltiples (cancela a la NMX-AA-42-1987)*. Secretaría de Economía, México. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166147/hmx-aa-042-scfi-2015.pdf>
- Norma Mexicana NMX- AA-014-1980 (1980). *Cuerpos Receptores—Muestreo/ Receiver Bodies—Sampling*. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial;

México. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166769/NMX-AA-014-1980.pdf>

- SEMARNAT (2008). Capítulo 6. Agua. Informe de la situación del medio ambiente en México. Edición 2008. Compendio de estadísticas ambientales. http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/pdf/cap_6_agua.pdf
- SEMARNAT (2017) Estadísticas del agua en México. SEMARNAT-CONAGUA. https://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2017.pdf
- Silk, N. y K. Ciruna (Eds.) (2004). *A Practitioner's Guide to Freshwater Biodiversity Conservation*. The Nature Conservancy.
- US-EPA METHOD 8081A. Revision 1, December 1996. Organochlorine pesticides by gas cromatography. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/8081b.pdf>

A photograph of a cenote, a natural underground water opening. The scene shows a dark, rocky interior with numerous long, thin vines hanging from the ceiling. The water at the bottom is dark and still. The text is overlaid on the right side of the image.

Hojas de registro para el monitoreo
de indicadores de los ecosistemas
aguas subterráneas
(acuíferos y cenotes)

Indicador 1. Parámetros fisicoquímicos del agua

Hoja de registro

Nombre de monitor					ANP	
Localidad					Fecha (día/mes/año)	/ /
Nombre del acuífero / cenote					Coordenadas	
Hora (inicio 0-24 hrs)		Hora (fin 0-24 hrs)			Estado del tiempo	
Coordenadas	Temperatura (°C)	pH	Oxígeno disuelto (PPM)	Salinidad (UPS)	Transparencia del agua (m)	
Observaciones						

Indicador 2. Estado trófico de los cuerpos de agua

Hoja de registro

[illegible]

Indicador 3. Composición de la vegetación circundante

Vegetación reducida

Nombre de monitor				ANP			
Localidad				Fecha (día/mes/año)		/ /	
Nombre del acuífero / cenote				Coordenadas			
Hora (inicio 0-24 hrs)		Hora (fin 0-24 hrs)		Estado del tiempo			
Género / especie (si se conoce) o nombre común	Tipo de planta	Número de individuos por categoría de altura (m)			Porcentaje de cobertura	Vigor: (B) Bueno, (R) Regular o (M) Malo	
		0.25-1-50	1.51-2.75	>2.75			

Indicador 3. Composición de la vegetación circundante

Vegetación aledaña

Nombre de monitor			ANP							
Localidad			Coordenadas (acuifero/ cenote)			Fecha (día/mes/año)		/ /		
Nombre del acuifero/ cenote			Parcela / Subparcela			Coordenadas (Parcela / Subparcela)				
Hora (inicio 0-24 hrs)			Hora (fin 0-24 hrs)			Estado del tiempo				
Número de individuo	Género / Especie	Número de rama o tallo	Forma de vida: (V) Vivo (M) Muerto o (T) Tocón		Diámetro normal (cm)	Altura (m)	Diámetro de copa (m)	Epífitas (%)	Incendios (%)	Plagas (%)
Observaciones										

Indicador 4. Composición de la vegetación emergente, flotante y sumergida

Hoja de registro

[illegible]

Indicador 5. Composición de la flora mircroscópica

Hoja de registro

Nombre de monitor					ANP			
Localidad					Fecha (día/mes/año)		/ /	
Nombre del acuífero / cenote					Coordenadas			
Hora (inicio 0-24 hrs)				Hora (fin 0-24 hrs)		Estado del tiempo		
Coordenadas	Profundidad	Especie/género/familia o grupo identificados	Número de especies/géneros/familias o grupos identificados del plancton		Número de individuos	Presencia de especies indicadoras de calidad del agua (si/no)	Observaciones	
Observaciones								

Indicador 6. Composición de la comunidad de invertebrados

Hoja de registro

Nombre de monitor				ANP			
Localidad				Fecha (día/mes/año)		/ /	
Nombre del acuífero / cenote				Coordenadas			
Hora (inicio 0-24 hrs)		Hora (fin 0-24 hrs)		Estado del tiempo			
N° de punto	Coordenadas de los sitios de muestreo	Grupos de macroinvertebrados identificados pertenecientes a Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera	N. de individuos pertenecientes a Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera	Otros grupos de macroinvertebrados identificados	Número de individuos	Número de individuos no determinados	N. de foto
Observaciones							

Indicador 7. Composición de la comunidad de peces

Hoja de registro

[illegible]

Indicador 8. Diversidad de anfibios y reptiles

Trampas nasa

Nombre de monitor			ANP						
Localidad				Fecha (día/mes/año)	/ /				
Nombre del acuífero / cenote				Coordenadas					
Hora (inicio 0-24 hrs)			Hora (fin 0-24 hrs)			Estado del tiempo			
Coordenadas	Número de trampa/ parcela/ transecto	Género / nombre científico (en caso de conocerlo) o nombre común	Tipo de ecosistema	Tipo de vegetación aledaña	N. de foto	Nativa (N), Endémica (E), Exótica-Invasora (E-I)	N. de horas invertido en el muestreo	Metros recorridos	

Indicador 8. Diversidad de anfibios y reptiles

Censo por área

Nombre de monitor	ANP					
Localidad	Fecha (día/mes/año)			/ /		
Nombre del acuífero / cenote	Coordenadas					
Hora (inicio 0-24 hrs)	Hora (fin 0-24 hrs)		Estado del tiempo			
Coordenadas	Tipo de ecosistema/vegetación	Género / nombre científico (en caso de conocerlo) o nombre común	N° de individuos	Nativa (N), Endémica (E), Exótica-Invasora (E-I)	N. de horas invertido en el muestreo	Metros recorridos
Observaciones						

Indicador 9. Presencia de aves acuáticas

Hoja de registro

Nombre de monitor			ANP						
Localidad			Fecha (día/mes/año)				/ /		
Nombre del acuífero / cenote			Coordenadas						
Hora (inicio 0-24 hrs)				Hora (fin 0-24 hrs)				Estado del tiempo	
Coordenadas	Tipo de muestreo	Nombre del punto (ID)	Número de individuos por especie (nombre científico)	Especie (M) migratoria o (R) residente	Tipo de observación	Actividad que realizan	Tipo de alimento	Fotografías	
Observaciones									

Indicador 10. Presencia de mamíferos asociados a cenotes

Murciélagos

Nombre de monitor					ANP			
Localidad					Fecha (día/mes/año)		/ /	
Nombre del acuífero / cenote					Coordenadas			
Hora (inicio 0-24 hrs)				Hora (fin 0-24 hrs)	Estado del tiempo			
N° de red	Tamaño de red	Género/Especie	Medidas del antebrazo (cm)	Sexo y condición reproductiva	Peso (g)	Recaptura	N. de fotografía asociada	

Indicador 10. Presencia de mamíferos asociados a cenotes

Muestreo de rastros

Nombre de monitor					ANP			
Localidad					Fecha (día/mes/año)		/ /	
Nombre del acuífero/ cenote					Coordenadas			
Hora de inicio (0-24 horas)	Hora final (0-24 horas)				Estado del tiempo			
Coordenadas del rastro	Especie		Excreta		Huella		Huellas	
	Nombre común	Nombre científico	Largo (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)		Ancho (cm)	
					Total	Cojinete	Total	Cojinete

Indicador 10. Presencia de mamíferos asociados a cenotes

Fototrampeo

Nombre de monitor		ANP				
ID Cámara	Localidad	Nombre del acuífero/ cenote asociado				
Fecha colocación (día/mes/año)	Hora de activación (0-24 horas)	Temporada (lluvias/secas)	Estado del tiempo			
Ubicación de la cámara						
Latitud (N)	Error de precisión (m)	Altitud (m s. n. m.)	Tipo de vegetación			
Observaciones						
Revisión						
Fecha de revisión (día/mes/año)	Hora de reactivación (0-24 horas)	Temporada (lluvias/secas)	Estado del tiempo			
Fecha de revisión (día/mes/año)	Hora de reactivación (0-24 horas)	Temporada (lluvias/secas)	Estado del tiempo			
Fecha de revisión (día/mes/año)	Hora de reactivación (0-24 horas)	Temporada (lluvias/secas)	Estado del tiempo			
Fecha de revisión (día/mes/año)	Hora de reactivación (0-24 horas)	Temporada (lluvias/secas)	Estado del tiempo			
Observaciones						
Retiro						
Fecha de retiro (día/mes/año)	Hora de retiro (0-24 horas)	Temporada (lluvias/secas)	Estado del tiempo			
Observaciones						

Indicador 11. Presencia de especies exóticas-invasoras de alto impacto

[illegible]

Indicador 12. Grado de degradación de cenotes

Hoja de registro

Nombre de monitor				ANP	
Localidad				Fecha (día/mes/año)	/ /
Nombre del acuífero/ cenote				Coordenadas	
Hora de inicio (0-24 horas)			Hora final (0-24 horas)	Estado del tiempo	
Criterio A. Presencia de vestigios arqueológicos o elementos culturales	Si. Existencia/presencia de vestigios arqueológicos dentro o alrededor del cenote Nulo. Sin estudios arqueológicos o reporte de hallazgo de vestigios arqueológicos No. Ausencia reportada de vestigios arqueológicos			Si	No
				Nulo	No
Criterio B. Registro de especies acuáticas en peligro de extinción	Si. Existencia/presencia de especies acuáticas en peligro de extinción Nulo. Sin estudios o reportes de presencia de especies acuáticas en peligro de extinción No. Ausencia reportada de especies acuáticas en peligro de extinción			Si	No
				Nulo	No
Criterio C. Suma del número de atributos físico/biológicos observados en el cenote	Mayor a cuatro atributos De tres a cuatro atributos Menor a tres atributos			>4	<2
				3-4	
Criterio D. Tipo de lugar	Grupo 1. Parador turístico, vivienda o inmueble, rancho, hacienda o zona arqueológica Grupo 2. Monte (sabana, ciénega, laguna, petén, selva, manglar), plantío, cantera o vías de comunicación			Grupo 1	Grupo 2
Criterio E. Tipo de cenote	Semi-abierto de caída libre Cerrado dentro de gruta Abierto de caída libre Abierto a flor de tierra			Semi-abierto	Abierto a flor de tierra
				Cerrado dentro de gruta	
				Abierto de caída libre	
Criterio F. Control del acceso	No. Ausencia de rejas, puertas, alambrado, vigilancia, entre otros, para el acceso al cenote Si. Control del acceso (presencia de los elementos anteriormente descritos)			No	Si
Criterio G. Paso por terracería	No. Ausencia de terracería o camino no pavimentado para el arribo del cenote Si. Paso por terracería (criterios anteriormente definidos)			No	Si

Indicador 12. Grado de degradación de cenotes

Imágenes o fotografías satelitales

[illegible]

Indicador 13. Número de cenotes que han sido rellenados para la construcción de edificaciones

Hoja de registro

[illegible]

Indicador 14. Presencia de contaminantes (basura)

Hoja de registro

[illegible]

Recomendaciones

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

- 1** No coleccionar a menos que sea extremadamente necesario.
- 2** Para realizar las colectas/capturas se requiere de permisos de colecta expedidos por SEMARNAT a través de trámite SEMARNAT-08-049-A Licencia de colecta científica o con propósitos de enseñanza en materia de vida silvestre. Modalidad A: por línea de investigación. <http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/formatos/DGVS/FF-SEMARNAT-104%20SEMARNAT-08-049-A-B%20y%20C%20editable.pdf>
- 3** 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.
- 4** Se debe realizar una planeación previa para la selección de los sitios de muestreo.
- 5** 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.
- 6** En caso de no poder identificar a los organismos, tomar la mayor cantidad de fotos para una identificación posterior.
- 7** Por seguridad, es importante que durante el trabajo en campo, el personal técnico porte sus credenciales de identificación como colaboradores del ANP, así como también los vehículos en los cuales son transportados porten los logos del ANP y de la CONANP.

Agradecimientos

Agradecemos la participación de las personas que contribuyeron al enriquecimiento y elaboración del protocolo de aguas subterráneas:

- **A**lejandra Calvo Fonseca
- **A**mantina Lavallo
- **C**atalina Martínez Silva
- **E**duardo Soto Montoya
- **E**lva Ivonne Bustamante M.
- **I**gnacio J. March Mifsut
- **J**orge Brambila Navarrete
- **J**uan Manuel Salazar Torres
- **K**atya Andrade Escobar
- **M**aira Abigail Ortíz Cordero
- **M**arisol Amador Medina
- **M**artha Judith Román R.
- **O**scar Rangel Aguilar
- **U**lises Torres García

Se agradece el apoyo de la **Colección de Fotocolectas Biológicas, del Instituto de Biología de la UNAM**, por la revisión del contenido y 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.**

