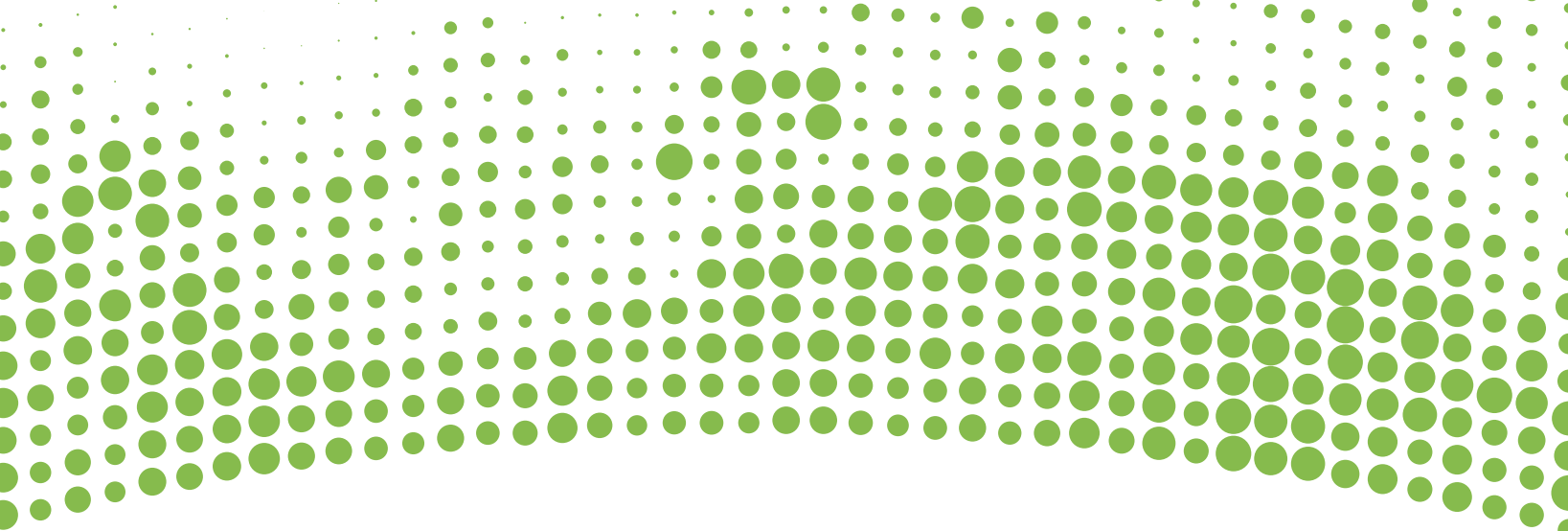
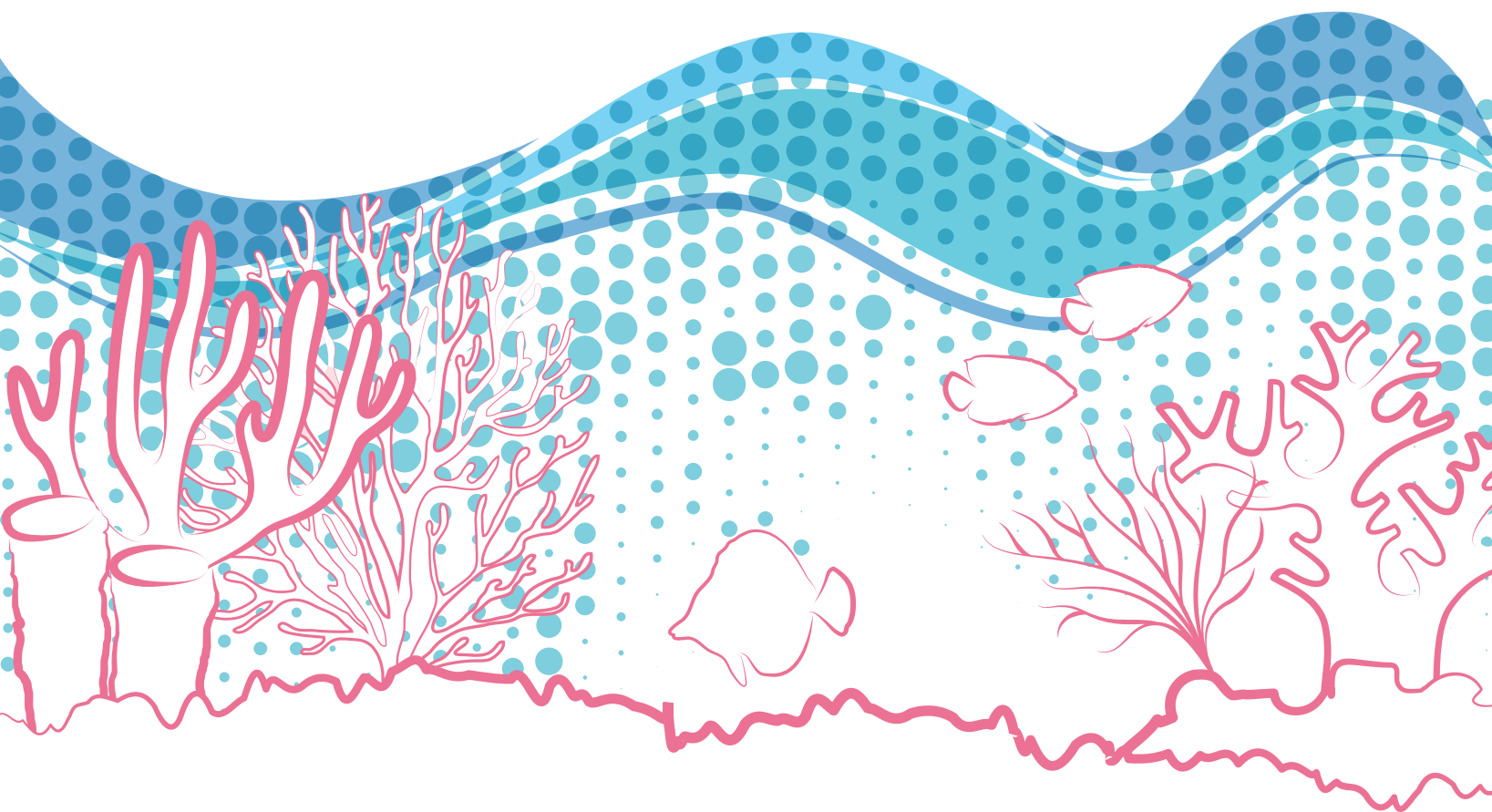




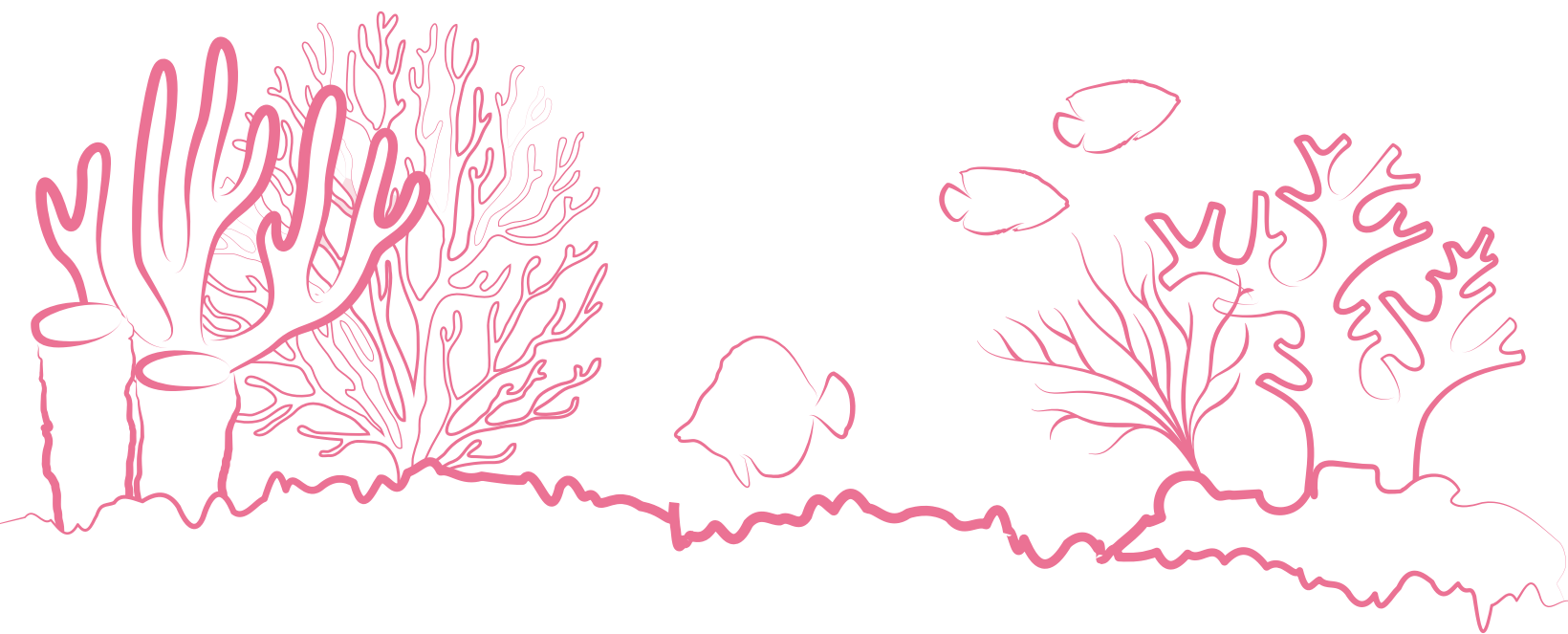
PROTOCOLO MONITOREO MARINO

Protocolo para el Monitoreo Ecológico de las Formaciones Coralinas



PROTOCOLO MONITOREO MARINO

Protocolo para el Monitoreo Ecológico de las Formaciones Coralinas



EJECUCIÓN

Sistema Nacional de Áreas de Conservación y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y Global Environment Facility.

ELABORACIÓN CIENTÍFICA

Cristina Sánchez Godínez, Juan José Alvarado y Cindy Fernández

EDITOR CIENTÍFICO

Damián Martínez Fernández

EDITORES DE ESTILO

Cristina Sánchez Godínez y Jose David Palacios Alfaro

DISEÑO GRÁFICO Y DIAGRAMACIÓN

Mónica Chávez Ramos

COMITÉ TÉCNICO ASESOR

Jenny Asch, Marco Vinicio Araya, Eugenia Arguedas, Gustavo Induni, Andrea Montero y Damián Martínez

ASESORES EXPERTOS

Michael Schloenvoigt (GIZ-BIOMARCC), Marco Araya (SINAC-BIOMARCC), Jacklyn Rivera (Viceministerio de Aguas y Mares), Esteban Herrera (SINAC-PNIC), Fernando Quirós (SINAC-ACMIC), Rodrigo Villate (GIZ-BIOMARCC), Freddy Salazar (SINAC-ACG), Jorge Jiménez (Marviva), Eleazar Ruiz (CIMAR), Donald Campbell (SINAC-ACLAC), Alber Mata (BID-Catastro), Norma Rodríguez (SINAC-ACT), Giovanni Bassey (UCR-Sede

Guanacaste), Geiner Golfín (SINAC-ACMIC), Paulino Madrigal (CEDARENA), Roberto Cubero (SINAC-ACMIC), Andrea Montero (ACRXS), Fernando Soley (ACRXS), María Marta Chavarría (SINAC-ACG), Gerardo Palacios (SINAC-ACOSA), Jose Calvo (SINAC-DE), Jairo Sancho (SINAC-DE), Odalisca Breedy (CIMAR, CIEMIC), Gustavo Induni (SINAC-DE), Yamileth Cubero, Isaac Chinchilla (SINAC-ACOPAC), Solcire Martínez (CIMAR), Alvaro Segura, Javier Rodríguez (Promar), Ana Guzmán (Conservación Internacional), Marco Quesada (Conservación Internacional), Luis Garita (SINAC-ACG), Isaac López (SINAC-ACAT), Eugenia Arguedas (SINAC), Gerardo Chavarría (SINAC-ACOPAC), Carlos Calvo (SINAC-ACTo), Sebastián Bonilla (SINAC-ACTo), Damián Martínez (Barreritas), Gina Cuza (ACLAC, GASP), Miguel Madrigal (SINAC-ACOSA), Juan Alvarado (CIMAR), Lara Anderson (SINAC-ACT), Jeffrey Sibaja (CIMAR), Jenny Asch (SINAC).

EQUIPO DE IMPLEMENTACIÓN

Mirna Cortés Obando (ACLA-C), Edgar Ortega Pérez (ACLA-C), José Saballo López (ACLA-C), Sebastián Bonilla Sánchez (ACTo), Andrés Jiménez Solera (ACT), Michael Rodríguez Ramírez (ACT), Mauricio Méndez Venegas (ACT), Freddy Salazar Fallas (ACG), Ronald Quirós (ACG), Johan Aguilar Fernández (ACOPAC), Yamileth Cubero Campos (ACOPAC), Huberth León Bejarano (ACOPAC), Yareth Ledezma Gómez (ACOPAC), Olger Chavarría Villagra (ACOSA), Isaac Chinchilla (ACMIC), Roberto Cubero Muñoz (ACMIC).

DONADO POR: Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF)

Este es un producto del proyecto Consolidación de las Áreas Marinas Protegidas del SINAC, contratado por el PNUD con fondos del GEF.

CITAR COMO: SINAC. 2016. *Protocolo PRONAMEC: Protocolo para el monitoreo ecológico de formaciones coralinas*. Proyecto Consolidación de las Áreas Marinas Protegidas. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y El Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF), San José, Costa Rica. 61p.

CONTENIDO

1	Presentación	7
2	Importancia del protocolo para la integridad ecológica	9
3	Marco sinóptico	10
4	Resumen general de los indicadores	12
5	Indicadores para el monitoreo ecológico marino	14
6	Guías para la identificación de especies	49
7	Referencias	50

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Datos del sitio evaluado a completar por cada uno de los observadores. (p. 20)

FIGURA 2. Hoja de ingreso de datos digital para los indicadores de cobertura de sustrato. (p. 21)

FIGURA 3. Resultados (promedio y desviación estándar) de cobertura obtenidos para un sitio determinado. (p. 21)

FIGURA 4. Resultados temporales de la escala del ámbito de variación permisible para un sitio determinado. (p. 22)

FIGURA 5. Datos del sitio evaluado a completar por cada uno de los observadores. (p. 31)

FIGURA 6. Hoja de ingreso de datos digital para los indicadores de peces. (p. 31)

FIGURA 7. Ingreso de especies de tiburones y rayas observados durante los transectos. (p. 32)

FIGURA 8. Resultados de la densidad de peces por familia observadas en los transectos. (p. 32)

FIGURA 9. Resultados temporales de la escala del ámbito de variación permisible para un sitio determinado. (p. 33)

FIGURA 10. Datos del sitio evaluado a completar por cada uno de los observadores. (p. 40)

FIGURA 11. Hoja de ingreso de datos digital para los indicadores de macroinvertebrados. (p. 41)

FIGURA 12. Resultados de la densidad de macroinvertebrados por grupo observados en los transectos. (p. 41)

FIGURA 13. Resultados temporales de la escala del ámbito de variación permisible para un sitio determinado. (p. 42)

FIGURA 14. Hoja de datos digital para el indicador de complejidad arrecifal. (p. 47)

FIGURA 15. Resultados temporales de la escala del ámbito de variación permisible para un sitio determinado. (p. 48)

LISTA DE CUADROS

CUADRO 1. Interpretación de resultados de Cobertura Coralina según la escala del ámbito de variación permisible. (p. 23)

CUADRO 2. Interpretación de resultados de Cobertura de Algas según la escala del ámbito de variación permisible. (p. 24)

CUADRO 3. Interpretación de la pérdida de la densidad de peces en los sitios de monitoreo. (p. 34)

CUADRO 4. Interpretación de la pérdida de la riqueza de peces en los sitios de monitoreo. (p. 35)

CUADRO 5. Interpretación de la pérdida de la densidad de macroinvertebrados en los sitios de monitoreo. (p. 43)

CUADRO 6. Interpretación de la pérdida de la riqueza de macroinvertebrados en los sitios de monitoreo. (p. 44)

Presentación

El presente documento es una herramienta dirigida al Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) que permite el monitoreo a largo plazo de los indicadores más importantes en las Formaciones Coralinas, de manera que cada Área Marina Protegida (AMP) conozca el estado y los cambios que se presenten a lo largo del tiempo en estos ecosistemas. Este protocolo brinda la información necesaria para la generación de datos y su interpretación, teniendo valores de salud del ecosistema y ámbitos de variación permisible una vez se comience a implementar el monitoreo; por lo que puede ser utilizado tanto por tomadores de decisiones y funcionarios, como por actores locales involucrados en el manejo de las áreas marinas protegidas del país.

Dado que Costa Rica se encuentra en una zona tropical, y está rodeada por dos grandes masas de agua (Pacífico y Caribe), tiene la virtud de poseer una costa sumamente rica, donde se pueden encontrar una gran variedad de ecosistemas arrecifales. Muchos de estos ecosistemas ya se encuentran protegidos bajo alguna categoría de manejo, sin embargo esta protección no asegura su permanencia debido a que están expuestos a una serie de eventos ajenos y propios a las áreas silvestres protegidas que desfavorecen su desarrollo. Por lo tanto, tener indicadores medibles, eficientes y confiables, va a permitir analizar nuestras acciones de manejo, identificar fuentes de presión y mitigar daños, todo con el fin de poder conservar estos ambientes.

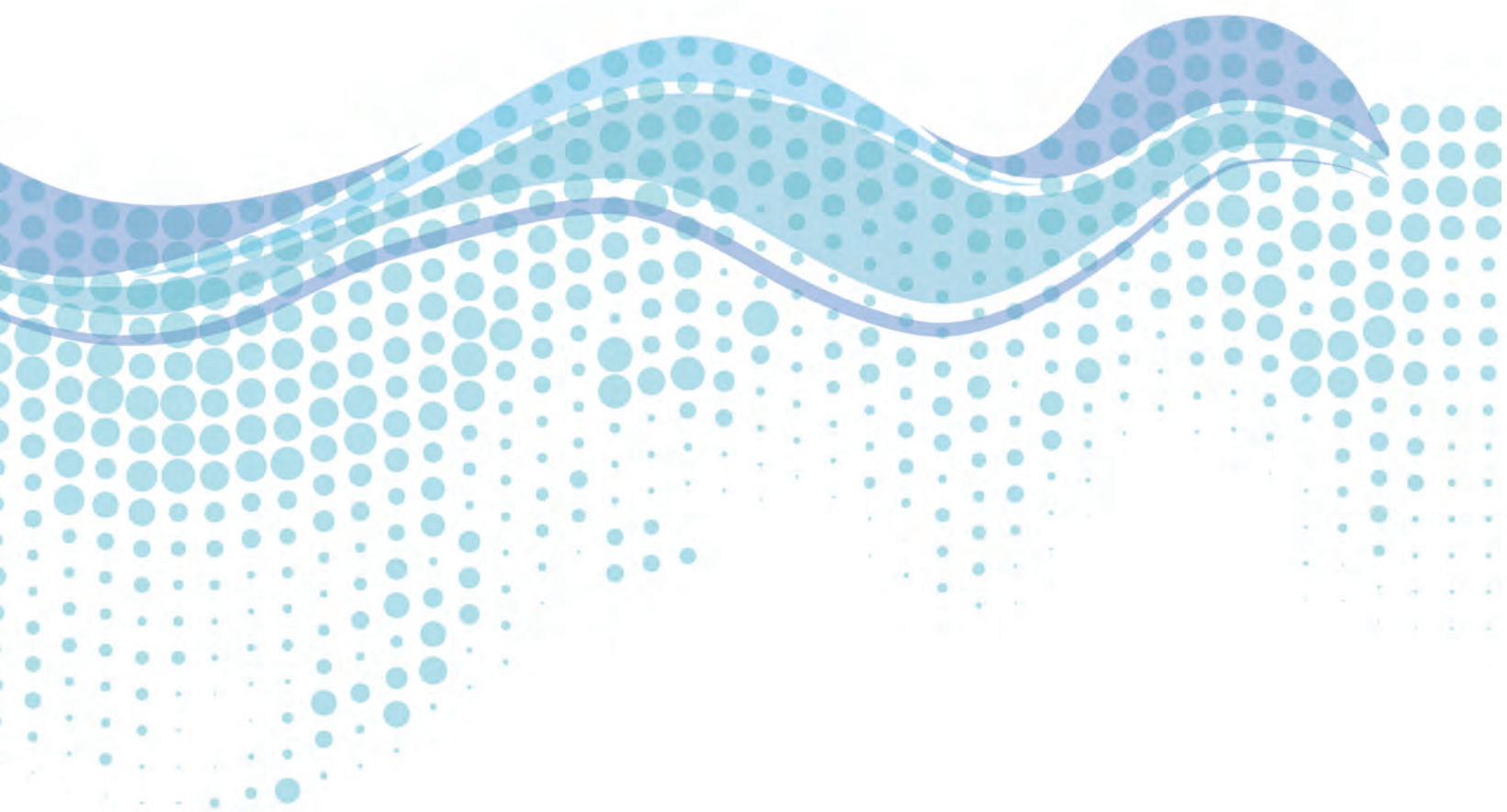
De acuerdo a la última identificación de prioridades de conservación de la biodiversidad marino-costera nacional (GRUAS II) (Alvarado *et al.* 2011), los arrecifes coralinos son uno de los 25 elementos focales de manejo prioritarios del país. Costa Rica en total posee 66.92 km² de formaciones coralinas, de las cuales el 67% se encuentran dentro del sistema de áreas protegidas (SINAC 2009), razón por la cual esta institución tiene la responsabilidad de establecer un programa que determine el estado de salud de estos sistemas y de la efectividad de manejo que se realiza sobre los mismos a largo plazo.

Los indicadores que se toman en cuenta el presente protocolo de monitoreo son los siguientes: Porcentaje de Cobertura Coralina, Porcentaje de Cobertura de Algas, Abundancia y Diversidad de Peces, Abundancia y Diversidad de Macroinvertebrados, y Complejidad Arrecifal. Cada uno de ellos requiere un conocimiento previo tanto en identificación de especies como en la aplicación correcta de la metodología, la cual se adquiere con capacitaciones y prácticas previas a la implementación del protocolo.

Los cambios que se generen en cada indicador de salud funcionan como un sistema de alerta, con el fin de mejorar la gestión de los ecosistemas arrecifales y facilitar la toma de decisiones en temas de manejo y conservación. Además, la dinámica que presenten cada uno

de estos indicadores puede facilitar la comunicación de las áreas protegidas con diferentes expertos, de manera que se planifiquen y se lleven a cabo investigaciones dirigidas a temas prioritarios según los resultados generados por el monitoreo.

Al ser los arrecifes coralinos uno de los ecosistemas marinos más vulnerables ante el cambio climático, esta herramienta permitirá conocer los impactos que se presenten producto del aumento de las temperaturas del agua y otros fenómenos, como lo es la acidificación de los océanos. En este sentido, el monitoreo a largo plazo proporcionará un mejor conocimiento de estos impactos, haciendo más sencilla la implementación de acciones que minimicen su vulnerabilidad y promuevan la resiliencia de estos ecosistemas durante los periodos de estrés.



Importancia del protocolo para la integridad ecológica

Las Áreas Silvestres Protegidas están destinadas, entre otras razones, a proteger la integridad ecológica de uno o más ecosistemas, de manera que se puedan ofrecer diversas oportunidades de utilización con fines espirituales, científicos, docentes, de recreo, de visita o de preservación. La integridad ecológica se define como la capacidad de un sistema ecológico de soportar y mantener una comunidad de organismos, cuya composición de especies, diversidad y organización funcional son comparables con los hábitats naturales dentro de una región particular (Parrish *et al.* 2003).

El PRONAMEC (Programa Nacional de Monitoreo Ecológico) es una propuesta metodológica para el seguimiento y evaluación del estado o tendencias de la biodiversidad a nivel nacional, en forma interinstitucional, rigurosa y práctica. Por tal razón para las formaciones coralinas se han propuesto doce indicadores, que servirán para evaluar el estado de este elemento focal de manejo. Para poner en práctica los indicadores para el monitoreo ecológico marino, es necesario que el lector de este protocolo conozca de primera mano una serie de términos que son claves para el entendimiento y aplicación de la metodología que se describirá más adelante. Por tanto, a continuación se definen de forma clara y concisa cada uno de estos términos:

INDICADOR

Es aquella característica o condición que sea relevante, precisa y sensible a cambios durante el tiempo y que pueda ser determinado y caracterizado de forma precisa y práctica con costo razonable.

MONITOREO

Es la medición de un indicador a través del tiempo para evaluar los cambios en el medio ambiente.

ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE

Condiciones mínimas en las cuales las formaciones coralinas pueden desarrollarse y persistir tanto en el tiempo como el espacio.

La medición de la integridad ecológica en cada Área Silvestre Protegida promueve la recuperación o mantenimiento de los elementos focales, permite la evaluación de las amenazas, redefinición de metas de conservación, diseño de estrategias de manejo y/o restauración, todo dentro de los principios del manejo adaptativo.

Marco sinóptico

Los arrecifes coralinos son los ecosistemas marinos que presentan la mayor biodiversidad del planeta, ya que alberga cerca del 25% de las especies marinas que se conocen (César & Chong 2004). Sus principales constructores son los corales, los cuales contribuyen con la acumulación de carbonato de calcio y dan estructura al ecosistema (Bellwood *et al.* 2004). Los arrecifes son fuente importante de ingresos económicos para muchos países debido a la gran cantidad de turistas que atraen, además son los encargados de la producción de arena, constituyen una barrera que protege a las zonas costeras de los efectos de huracanes y tormentas, y sirven de refugio para muchas especies de importancia comercial, ya sea toda o parte de su ciclo de vida, por lo que son claves para el sector pesquero (César & Chong 2004, Van Oppen & Gates 2006).

En la actualidad los arrecifes coralinos son uno de los ecosistemas que se encuentran en mayor riesgo a nivel mundial. Esto se debe a que más del 50% de la población mundial vive asociado a las costas, y de estas costas casi el 80% se encuentran en los trópicos, donde se desarrollan estos ecosistemas. Todas las actividades humanas que se realicen cerca o dentro de estos ambientes van a tener una repercusión seria en los servicios que estos ecosistemas generan. A su vez, debido a los cambios globales que viene sufriendo el planeta, en términos de aumento de temperatura de los océanos, aumento del nivel del mar y acidificación de las aguas; los arrecifes coralinos se convierten en el ambiente marino más vulnerable y susceptible a un deterioro. Entre las principales señales de estrés que presentan los corales, se encuentra el blanqueamiento de sus tejidos producido principalmente por el aumento de temperatura. Lo anterior, inhibe su crecimiento, provoca la pérdida de zooxantelas (alga asociada con los corales que al perderse da como resultado el blanqueamiento) y muchas veces causan su muerte. Por otro lado, la sobrepesca de algunas especies en este ecosistema provoca la pérdida de su equilibrio y por ende daños en el arrecife.

● Formaciones coralinas en el Pacífico

Los arrecifes coralinos del Pacífico Oriental Tropical han sido considerados como empobrecidos debido a su escasez, sin embargo, en esta región pueden reconocerse comunidades coralinas y en algunas áreas verdaderos arrecifes coralinos. En general, los arrecifes son pequeños y están dominados por varias especies de *Pocillopora* o por el coral masivo *Porites lobata* (Cortés & Murillo 1985). Hasta el momento, se han encontrado 22 especies de corales duros formadores de arrecife en el Pacífico de Costa Rica (Alvarado *et al.* 2005), localizados principalmente al sur del país, en el Parque Nacional Marino Ballena, en la Península de Osa,

Golfo Dulce y la Reserva Biológica Isla del Caño. Algunos de estos arrecifes cubren varias hectáreas, con un relieve hasta 12 m sobre en el fondo (Quesada & Cortés 2006).

El Pacífico Norte de nuestro país está influenciado por los vientos alisios durante los meses de diciembre a abril, lo que produce un afloramiento estacional de las aguas (Glynn *et al.* 1983). En el Área de Conservación Guanacaste, principalmente en las Islas Murciélagos, Cortés (1996-1997) reporta la presencia de uno de los arrecifes más extensos del país predominado por el género *Pocillopora*. No obstante, se destaca que la especie dominante es *Pavona gigantea*, la cual forma un arrecife de hasta 200 m² en un bajo, el cual es considerado como uno de los únicos arrecifes monoespecíficos formados por esta especie en el Pacífico Oriental. Específicamente para la isla de San Pedrito se reporta una cobertura de coral vivo entre 4.8% y 80.9% del género *Pocillopora* a una profundidad de 3 m, mientras que para el género *Psammocora* la cobertura se reporta entre 4.8% y 47.6% a 11 m de profundidad (Nielsen & Quesada 2006). El decline observado en estos arrecifes se atribuye principalmente al fenómeno del El Niño, las mareas rojas y la sobrepesca (Guzmán y Cortés 2001).

● Formaciones coralinas en el Caribe

Los arrecifes del Caribe de Costa Rica se caracterizan por su baja cobertura coralina (Cortés & Risk 1985), siendo el arrecife coralino del Parque Nacional Cahuita es el que se encuentra mejor desarrollado, como consecuencia, se presenta como uno de los arrecifes más estudiado desde la década de los 70's (Fernández & Alvarado 2004). En la costa Caribe se encuentran alrededor de 40 especies de corales escleractinios, 6 especies de corales azooxantelados, 19 especies de octocorales, 3 especies de hidrocorales, 262 especies de algas y 4 especies de fanerógamas marinas (pastos marinos) (Cortés & Guzmán 1985, Cortés & Jiménez 2003, Fernández & Alvarado 2004, Fonseca *et al.* 2006a).

En el Caribe Sur, así como en otros lugares, los arrecifes se encuentran bajo la influencia de escorrentía y sedimentación terrestre y costera, siendo su principal amenaza (Brusca & Wehrtmann 2009). En este caso, los sedimentos arrastrados por los ríos entre Limón y Punta Cahuita, provenientes tierras deforestadas, son llevados a lo largo de la costa de noreste a suroeste (Cortés & Risk 1985, Fonseca 1999). En general, los arrecifes de esta zona presentan una baja cobertura de coral vivo atribuido a la alta sedimentación (Fernández & Alvarado 2004). Se estima que la cobertura coralina en los arrecifes del Gran Caribe ha disminuido aproximadamente 16% en los últimos 40 años (Jackson *et al.* 2014). Este cambio se ha atribuido tanto a factores naturales como antropogénicos, entre los que se encuentran los eventos de blanqueamiento masivo, la sobrepesca de peces herbívoros, la mortalidad del erizo *Diadema antillarum*, el aumento en la eutrofización, el desarrollo costero, la sedimentación, las enfermedades, los huracanes y el cambio climático (Bellwood *et al.* 2004, Fonseca *et al.* 2006, Mumby 2009, Hughes *et al.* 2010).

Resumen general de los indicadores

Para caracterizar los elementos focales de manejo del Área Silvestre Protegida (ASP) y asegurar su viabilidad en el largo plazo se mide su integridad ecológica. Esta es una herramienta para valorar si el ASP está cumpliendo los objetivos para lo cual fue creada, a partir de los Elementos Focales de Manejo, establecidos en el Plan General de Manejo. La integridad ecológica se compone de tres categorías:

TAMAÑO

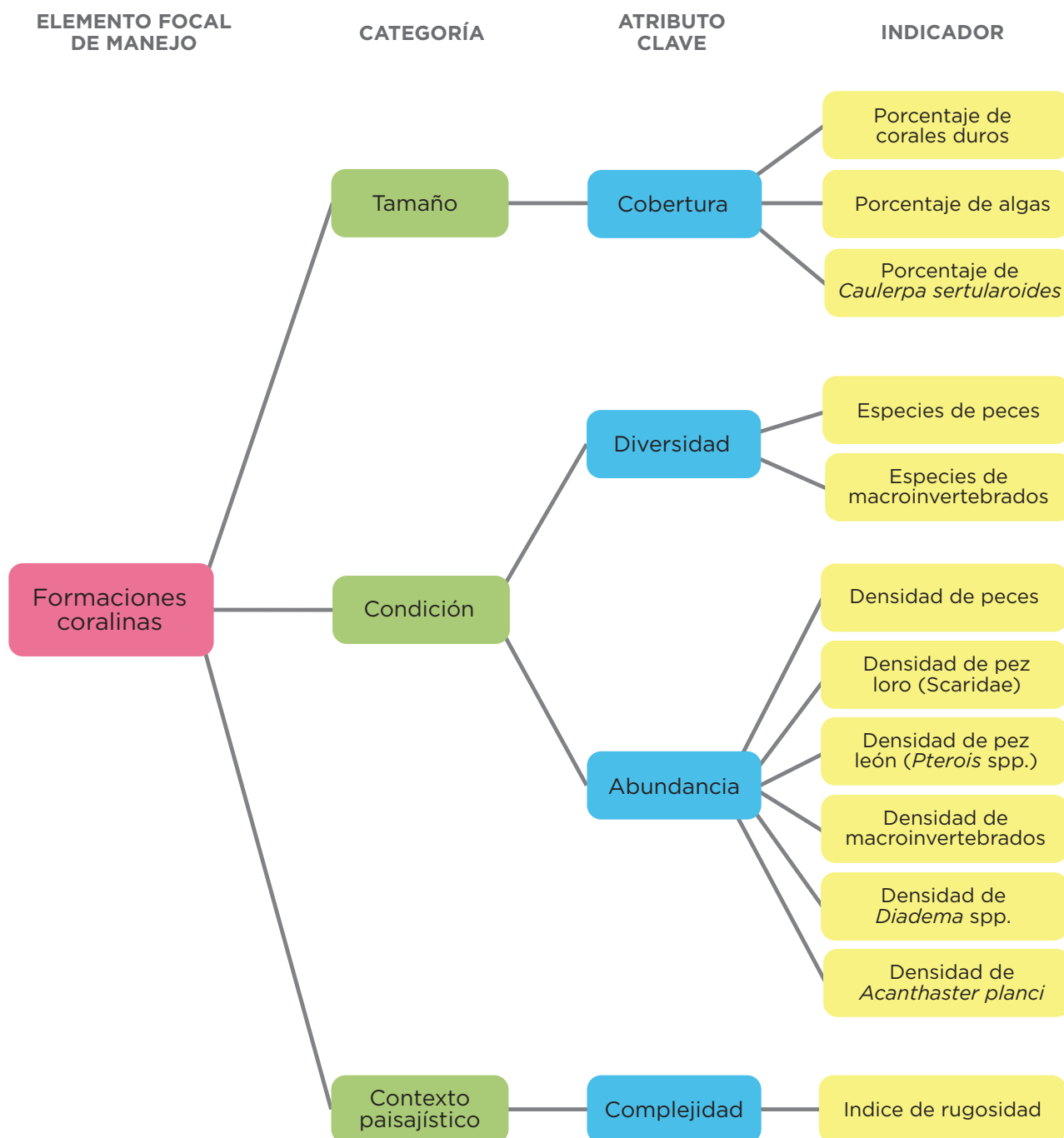
Mide el área de abundancia u ocurrencia del elemento focal de manejo. Una disminución en el tamaño mínimo y el número de hábitats naturales puede llevar a la desaparición de especies individuales.

CONTEXTO PAISAJÍSTICO

Mide el grado en que los paisajes facilitan o impiden el movimiento de recursos entre diferentes hábitats o comunidades. Directamente relacionado con el grado de conectividad del hábitat, procesos de fragmentación, interrupción o agregación de hábitats.

CONDICIÓN (Composición y Estructura)

Mide los procesos bióticos y abióticos dentro de la zona de ocurrencia del elemento focal de manejo. Incluye factores como: reproducción, composición biológica, estructura biológica, características ambientales, perturbaciones naturales y factores abióticos.



Indicadores para el monitoreo ecológico marino

INDICADORES: Cobertura de sustrato

INDICADOR 1

Porcentaje de cobertura de corales duros

ELEMENTO FOCAL DE MANEJO: Formaciones coralinas	
CATEGORÍA: Tamaño	ATRIBUTO CLAVE: Cobertura de coral
OBJETIVO: Determinar la dinámica de la cobertura coralina en los arrecifes como medida de la salud del ecosistema	
FRECUENCIA DEL MONITOREO: Dos veces al año (época seca y época lluviosa)	ESFUERZO DE MONITOREO: De 4 a 6 sitios distribuidos en el área de interés
HORARIO DE MONITOREO: De 8:00am a 4:00pm	ESPACIALIDAD: Arrecifes coralinos (áreas con la mayor cobertura de coral)
PERSONAL REQUERIDO: 3-4 funcionarios	CONOCIMIENTO PREVIO: Capacitación en identificación de especies de corales y los diferentes tipos de sustrato, y de la metodología a implementar
EQUIPO REQUERIDO: Hoja de datos, tabla acrílica, lápiz, cintas métricas de 30 metros, cuadrícula (si se requiere), equipo de buceo completo, bote, computadora personal	
ESCALA DE SALUD: Valores de cobertura de coral considerados como saludables: • 30-70% de coral vivo • Menos de 5% de coral blanqueado • Menos de 5% de coral enfermo • Menos de 5% de coral muerto recientemente	
ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:  0-5%  6-10%  más de 11% % de pérdida de cobertura coralina viva, respecto al valor del monitoreo anterior	

INDICADOR 2

Porcentaje de cobertura de algas

ELEMENTO FOCAL DE MANEJO: Formaciones coralinas	
CATEGORÍA: Tamaño	ATRIBUTO CLAVE: Cobertura de algas
OBJETIVO: Determinar la dinámica de la cobertura de algas en los arrecifes coralinos como medida de la salud del ecosistema	
FRECUENCIA DEL MONITOREO: Dos veces al año (época seca y época lluviosa)	ESFUERZO DE MONITOREO: De 4 a 6 sitios distribuidos en el área de interés
HORARIO DE MONITOREO: De 8:00am a 4:00pm	ESPACIALIDAD: Arrecifes coralinos (áreas con la mayor cobertura de coral)
PERSONAL REQUERIDO: 3-4 funcionarios	CONOCIMIENTO PREVIO: Capacitación en identificación de categorías de algas y los diferentes tipos de sustrato, y de la metodología a implementar
EQUIPO REQUERIDO: Hoja de datos, tabla acrílica, lápiz, cintas métricas de 30 metros, cuadrícula (si se requiere), equipo de buceo completo, bote, computadora personal	
ESCALA DE SALUD: Valores de cobertura de algas considerados como saludables: • Tapetes algales (turf): 20 y 40% • Macroalgas carnosas: 5 y 10 % • Calcáreas costrosas: 30 y 50 %	
ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE: ● 0-5% en cualquiera de las categorías ● 6-20% en cualquiera de las categorías ● más de 21% en cualquiera de las categorías % de ganancia de cobertura de algas (macroalgas carnosas, tapetes algales, calcáreas costrosas), respecto al valor del monitoreo anterior	

INDICADOR 3

Porcentaje de Cobertura de la macroalga *Caulerpa sertularioides*

ELEMENTO FOCAL DE MANEJO: Formaciones coralinas	
CATEGORÍA: Tamaño	ATRIBUTO CLAVE: Cobertura de <i>Caulerpa sertularioides</i>
OBJETIVO: Determinar la dinámica de la cobertura de <i>Caulerpa sertularioides</i> en los arrecifes coralinos como medida de la salud del ecosistema	
FRECUENCIA DEL MONITOREO: Dos veces al año (época seca y época lluviosa)	ESFUERZO DE MONITOREO: De 4 a 6 sitios distribuidos en el área de interés
HORARIO DE MONITOREO: De 8:00am a 4:00pm	ESPACIALIDAD: Arrecifes coralinos (áreas con la mayor cobertura de coral)
PERSONAL REQUERIDO: 3-4 funcionarios	CONOCIMIENTO PREVIO: Capacitación en identificación de categorías de algas y los diferentes tipos de sustrato, y de la metodología a implementar
EQUIPO REQUERIDO: Hoja de datos, tabla acrílica, lápiz, cintas métricas de 30 metros, cuadrícula (si se requiere), equipo de buceo completo, bote, computadora personal	
ESCALA DE SALUD: Valores de cobertura de <i>Caulerpa sertularioides</i> considerados como saludables: • Entre 5 y 10%	
ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE: ● más de 21% ● 6-20% ● 0-5% % de ganancia de cobertura de <i>Caulerpa sertularioides</i>, respecto al valor del monitoreo anterior	

● Aspectos relevantes

COBERTURA DE CORALES DUROS

Los corales son los principales constructores de los arrecifes coralinos, y debido a su crecimiento y estructura logran albergar una gran diversidad de organismos. Debido a lo anterior, una alta cobertura de coral vivo va a ser un indicativo de salud arrecifal. Los porcentajes de salud de un arrecife respecto a su cobertura coralina han sido determinados en estudios alrededor de mundo, por lo que podemos tomar estos porcentajes como base inicial. Dentro de la cobertura coralina se deben considerar elementos como colonias de coral blanqueadas, colonias con presencia de enfermedades o colonias muertas recientemente, debido a que esto podría afectar la cobertura y por ende a las especies asociadas a estos ecosistemas. Además los corales son los principales contribuyentes a la complejidad arrecifal la cual ha sido asociada a una mayor cantidad de especies.

COBERTURA DE ALGAS

Como productores primarios las macroalgas juegan un papel importante dentro de los arrecifes coralinos como alimento, zonas de crianza y refugio de organismos marinos. Así mismo algunos grupos de algas contribuyen significativamente en la formación y cementación del arrecife y en la producción de arena; constituyendo parte de un ecosistema muy sensible. En los arrecifes coralinos y rocosos, tanto saludables como degradados, la abundancia y composición de algas son críticas en la ecología de estos ambientes y por tanto se considera que las macroalgas son un indicador de la salud del arrecife. Bajo un intenso pastoreo por parte de peces y erizos de mar, los arrecifes están caracterizados por una baja biomasa del conjunto algas, los cuales son dominados por tapetes algales, y algunas algas coralinas costrosas (Steenek 1988). Además, la predominancia de corales y algas calcáreas en relación a las macroalgas foliosas es indicativo de condiciones con bajos nutrientes y una alta herbivoría (Littler *et al.* 2009). Una alta cobertura de algas coralinas es indicativa de salud arrecifal (Guzman y Cortes 2001).

COBERTURA DE *Caulerpa sertularioides*

Esta alga se encuentra de manera natural en los arrecifes de Costa Rica, no obstante desde el 2003 se observó una propagación permanente en Bahía Culebra, pacífico norte, donde se encontraron extensiones continuas en varios tipos de sustrato. La causa principal de su expansión se atribuye a la escorrentía de aguas que aportan nutrientes al agua y a la expansión de estos nutrientes por corrientes marinas (Fernandez y Cortés 2009). La propagación de *C. sertularioides* altera la dinámica y composición del ecosistema, principalmente la estructura bentónica. En el caso de los corales, se ha observado una afectación en la tasa de crecimiento, producto de la abrasión por las frondas, el sobrecrecimiento y la acumulación de sedimentos (Fernández 2007). A pesar de que su propagación parece haber iniciado en el Pacífico norte del país, actualmente es frecuente encontrarla en toda la costa pacífica, con extensiones importantes en algunos sitios (ej. Reserva Biológica Isla del Caño).

● Detalle metodológico

PARTICIPATIVA: EXPERIENCIA BÁSICA EN MONITOREO

A través de 3 transectos paralelos a la costa se cuantificará la cobertura del fondo mediante la metodología de **Punto Intercepto**, la cual consiste en identificar el tipo de sustrato sobre la cinta métrica cada 20 cm, iniciando en el centímetro 20 de cada transecto, y finalizando en el metro 10, 25 y 40 según corresponda. Los corales serán identificados como grupo “corales duros” y además se incluirá el estado de salud; si está vivo, blanqueado, enfermo o muerto. En el caso de algas, se utilizarán cuatro categorías según los morfotipos: macroalgas, algas coralinas costrosas, algas filamentosas (turf) y cianobacterias. Además se contabiliza el porcentaje de otros tipos de sustrato biótico en la siguiente categoría: esponjas, corales suaves, invertebrados sésiles y otros; así como los tipos de sustrato abiótico en la siguiente categoría: sedimento (grano fino, se suspende fácilmente en la columna de agua), arena (grano grueso, cae rápidamente al fondo), grava (rocas pequeñas libres en el fondo) y roca (sustrato duro no cubierto por ningún elemento biótico anterior).

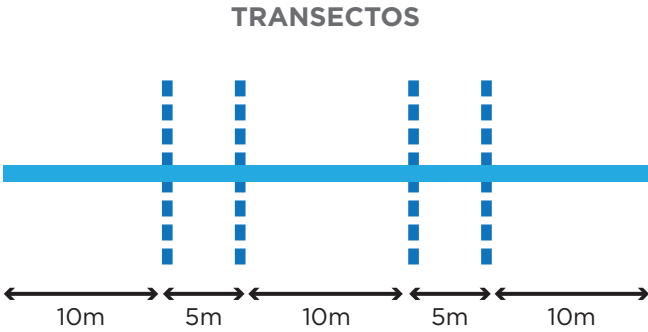
INSTITUCIONAL: EXPERIENCIA INTERMEDIA EN MONITOREO

A través de 3 transectos paralelos a la costa se cuantificará la cobertura del fondo mediante la metodología de **Punto Intercepto**, la cual consiste en identificar el tipo de sustrato sobre la cinta métrica cada 10 cm, iniciando en el centímetro 10 de cada transecto, y finalizando en el metro 10, 25 y 40 según corresponda. Los corales serán identificados a nivel de especie, además se incluirá el estado de salud; si está vivo, blanqueado, enfermo o muerto. En el caso de algas, se utilizarán cuatro categorías según los morfotipos: macroalgas calcáreas o carnosas, algas coralinas costrosas, algas filamentosas (turf) y cianobacterias. Se identificará de manera específica la macroalga *Caulerpa sertularioides*. Así mismo, se identificará la presencia de Rodolitos como una categoría aparte, dada su importancia ecológica. Por otro lado, se contabiliza el porcentaje de otros tipos de sustrato biótico en la siguiente categoría: esponjas, corales suaves, invertebrados sésiles y otros; así como los tipos de sustrato abiótico en la siguiente categoría: sedimento (grano fino, se suspende fácilmente en la columna de agua), arena (grano grueso, cae rápidamente al fondo), grava (rocas pequeñas libres en el fondo) y roca (sustrato duro no cubierto por ningún elemento biótico anterior).

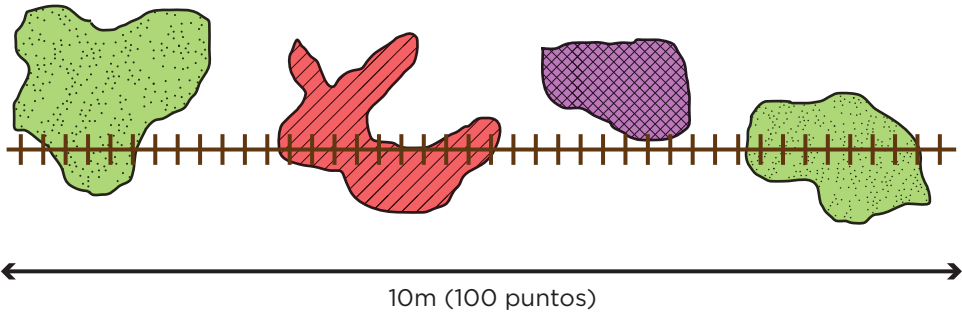
CIENTIFICA: EXPERIENCIA ALTA EN MONITOREO

A través de 3 transectos paralelos a la costa se cuantificará la cobertura del fondo mediante la utilización de **Cuadrículas** de 1 m² divididos cada 10 cm, donde se contabiliza el tipo de fondo presente. En específico para corales, se cuenta el número de cuadros donde están presentes los corales a nivel de especie, y a nivel de estado de salud; si está vivo, blanqueado, enfermo o muerto. En el caso de algas, se utilizarán cuatro categorías según los morfotipos: macroalgas, algas coralinas costrosas, algas filamentosas (turf) y cianobacterias. Las macroalgas serán identificadas a nivel de género y se identificará la presencia de Rodolitos como una categoría aparte dado su importancia ecológica. Además se contabiliza el porcentaje de otros tipos de sustrato biótico tales como las esponjas, corales suaves, invertebrados sésiles, zoántidos, entre otros; así como los tipos de sustrato abiótico en la siguiente categoría: sedimento (grano fino, se suspende fácilmente en la columna de agua), arena (grano grueso, cae rápidamente al fondo), grava (rocas pequeñas libres en el fondo) y roca (sustrato duro no cubierto por ningún elemento biótico anterior).

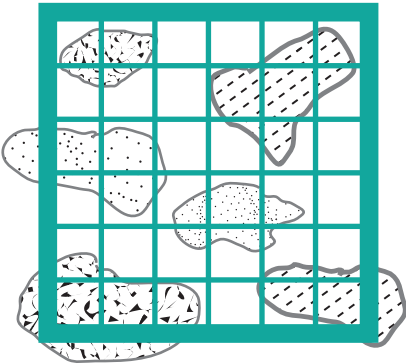
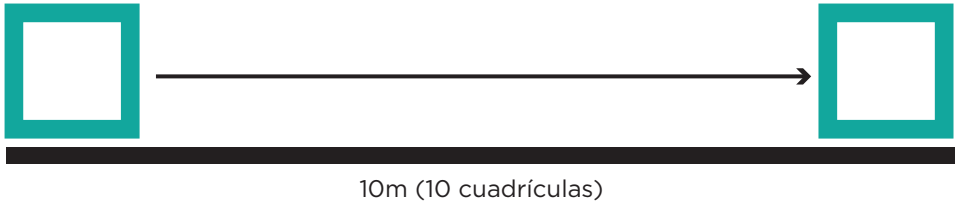
Diagrama de la metodología



METODOLOGÍA PARTICIPATIVA E INSTITUCIONAL: PUNTO INTERCEPTO



METODOLOGÍA CIENTÍFICA: CUADRÍCULAS



● **Ámbito de variación permisible**

Estos indicadores presentan valores bases desde los cuales se puede clasificar un arrecife como saludable, no obstante la cobertura de los arrecifes a nivel mundial ha declinado en los últimos años y en el caso del Pacífico Tropical Oriental, los parches de arrecifes coralinos suelen ser pequeños y con una cobertura variable entre los sitios. Por este motivo es importante determinar los valores actuales de cada arrecife de manera que sirvan como base para observar la dinámica del sustrato a lo largo del tiempo.

Cada arrecife presenta diferentes factores de estrés por lo que su comportamiento a través del tiempo puede variar de una zona a otra. Es importante valorar no sólo el cambio en la cobertura coralina general, sino también el cambio en las especies de corales duros predominantes. Además se debe tener en cuenta la toma de datos cuando hay presencia de enfermedades, blanqueamiento o mortalidad reciente en las colonias.

En el caso de las algas, también se tienen valores que estiman la salud de un arrecife, donde la alta cobertura de macroalgas indica un desequilibrio en el sustrato del arrecife, ya sea por la escasa presencia de herbívoros o por una alta cantidad de nutrientes. Arrecifes con altas coberturas de tapetes algales y algas coralinas costrosas indicarán ecosistemas más saludables.

A pesar de que se presentan tres metodologías distintas, todas estiman el porcentaje de cobertura de corales y algas en el arrecife. Se recomienda trabajar con una sola metodología a lo largo del tiempo, la cual dependerá del conocimiento de los encargados de la toma de datos.

● **Análisis e interpretación de los datos**

Una vez finalizada la toma de datos en cada uno de los sitios, se procede a ingresar los valores en el documento de excel llamado Cobertura de Sustrato. Este documento posee el mismo formato que se utiliza en el campo por lo que el ingreso de los datos es bastante sencillo. Primero, se debe completar la información del Sitio (Fig. 1)

SITIO		HORA		LAT (N)	
FECHA		PROF		LONG (W)	
BUZO		VISIBILIDAD			

FIGURA 1. Datos del sitio evaluado a completar por cada uno de los observadores.

Seguidamente, se ingresan los datos de la misma manera que se hizo en el campo (Fig. 2), solamente que utilizando las abreviaturas mostradas en la Fig. 3. Conforme se ingresan los datos, se obtiene automáticamente el promedio y la desviación estándar de cada tipo de sustrato contabilizado. Así mismo, se obtienen los gráficos que indican de manera visual la composición de sustrato en un sitio determinado.

INGRESO DE DATOS (CON LAS ABREVIATURAS)																							
m	T1	m	T1	m	T1	m	T1	m	T2	m	T2	m	T2	m	T2	m	T3	m	T3	m	T3	m	T3
0.1		2.6		5.1		7.6		15.1		17.6		20.1		22.6		30.1		32.6		35.1		37.6	
0.2		2.7		5.2		7.7		15.2		17.7		20.2		22.7		30.2		32.7		35.2		37.7	
0.3		2.8		5.3		7.8		15.3		17.8		20.3		22.8		30.3		32.8		35.3		37.8	
0.4		2.9		5.4		7.9		15.4		17.9		20.4		22.9		30.4		32.9		35.4		37.9	
0.5		3		5.5		8		15.5		18		20.5		23		30.5		33		35.5		38	
0.6		3.1		5.6		8.1		15.6		18.1		20.6		23.1		30.6		33.1		35.6		38.1	
0.7		3.2		5.7		8.2		15.7		18.2		20.7		23.2		30.7		33.2		35.7		38.2	
0.8		3.3		5.8		8.3		15.8		18.3		20.8		23.3		30.8		33.3		35.8		38.3	
0.9		3.4		5.9		8.4		15.9		18.4		20.9		23.4		30.9		33.4		35.9		38.4	
1		3.5		6		8.5		16		18.5		21		23.5		31		33.5		36		38.5	
1.1		3.6		6.1		8.6		16.1		18.6		21.1		23.6		31.1		33.6		36.1		38.6	
1.2		3.7		6.2		8.7		16.2		18.7		21.2		23.7		31.2		33.7		36.2		38.7	
1.3		3.8		6.3		8.8		16.3		18.8		21.3		23.8		31.3		33.8		36.3		38.8	
1.4		3.9		6.4		8.9		16.4		18.9		21.4		23.9		31.4		33.9		36.4		38.9	
1.5		4		6.5		9		16.5		19		21.5		24		31.5		34		36.5		39	
1.6		4.1		6.6		9.1		16.6		19.1		21.6		24.1		31.6		34.1		36.6		39.1	
1.7		4.2		6.7		9.2		16.7		19.2		21.7		24.2		31.7		34.2		36.7		39.2	
1.8		4.3		6.8		9.3		16.8		19.3		21.8		24.3		31.8		34.3		36.8		39.3	
1.9		4.4		6.9		9.4		16.9		19.4		21.9		24.4		31.9		34.4		36.9		39.4	
2		4.5		7		9.5		17		19.5		22		24.5		32		34.5		37		39.5	
2.1		4.6		7.1		9.6		17.1		19.6		22.1		24.6		32.1		34.6		37.1		39.6	
2.2		4.7		7.2		9.7		17.2		19.7		22.2		24.7		32.2		34.7		37.2		39.7	
2.3		4.8		7.3		9.8		17.3		19.8		22.3		24.8		32.3		34.8		37.3		39.8	
2.4		4.9		7.4		9.9		17.4		19.9		22.4		24.9		32.4		34.9		37.4		39.9	
2.5		5		7.5		10		17.5		20		22.5		25		32.5		35		37.5		40	

FIGURA 2. Hoja de ingreso de datos digital para los indicadores de cobertura de sustrato.

COBERTURA DE SUSTRATO							
TIPO	SUSTRATO	ABREVIATURA	T1	T2	T3	PROMEDIO	DESVIACION
CORAL VIVO	Pocillopora	POC	0	0	0	0	0
	Porites lobata	PLOB	0	0	0	0	0
	Porites panamensis	PPAN	0	0	0	0	0
	Pavona gigantea	PGIG	0	0	0	0	0
	Pavona clavus	PCLA	0	0	0	0	0
	Pavona frondifera	PFRO	0	0	0	0	0
	Pavona varians	PVAR	0	0	0	0	0
	Pavona chiriquensis	PCHI	0	0	0	0	0
	Gardineroseris planulata	GPLA	0	0	0	0	0
	Psammocora stellata	PSTE	0	0	0	0	0
	Psammocora superficialis	PSUP	0	0	0	0	0
	Leptoseris papyracea	LPAP	0	0	0	0	0
ALGAS	MACROALGA CARNOSA	MCAR	0	0	0	0	0
	MACROALGA CALCAREA	MCAL	0	0	0	0	0
	Caulerpa sertularoides	CSER	0	0	0	0	0
	ALGAS FILAMENTOSAS	TURF	0	0	0	0	0
	ALGAS CORALINAS COSTROSAS	ACC	0	0	0	0	0
	RODOLITOS	ROD	0	0	0	0	0
	CIAOBACTERIAS	CIAN	0	0	0	0	0
OTROS	ESPONJAS	ESP	0	0	0	0	0
	CORAL SUAVE	SUAV	0	0	0	0	0
	INVERTEBRADO SESIL	INV	0	0	0	0	0
ABIOTICO	ROCA	ROC	0	0	0	0	0
	ARENA	ARE	0	0	0	0	0
	GRAVA	GRA	0	0	0	0	0
	SEDIMENTO	SED	0	0	0	0	0
Total			0	0	0	0	0

FIGURA 3. Resultados (promedio y desviación estándar) de cobertura obtenidos para un sitio determinado.

Cada sitio contará con su documento de Excel, y dentro de él, cada pestaña corresponde a un monitoreo realizado. Debido a esto, el documento debe guardarse con el nombre del sitio, y cada pestaña interna deberá indicar el mes y año en el cual se realizó el monitoreo.

Una vez obtenido los resultados de cobertura y algas, los promedios deberán ser ingresados en la última pestaña llamada Variación Anual, donde automáticamente aparece la escala de colores del ámbito de variación permisible que cambiará de color según los resultados obtenidos en el monitoreo actual con respecto al anterior (Fig. 4). Cabe tomar en cuenta que el ámbito de variación permisible sólo refleja la dinámica del sustrato en el arrecife con el paso del tiempo y no así su estado de salud. Este último debe identificarse tomando en cuenta los valores de Escala de Salud presentes en el cuadro de cada indicador.

AMBITO DE VARIACION PERMISIBLE											
CORALES	DIC_2015	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
											
ALGAS	DIC_2015	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	LB										
SIMBOLOGIA AMBITO DE VARIACION PERMISIBLE						VALORES SALUD DEL ARRECIFE					
CORALES						CORALES					
	Pérdida de más de 11% de la cobertura de coral vivo					30 A 70% CORAL VIVO MENOS DE 5% CORAL BLANQUEADO MENOS DE 5% CORAL ENFERMO MENOS DE 5% CORAL MUERTO RECIENTEMENTE					
	Pérdida de 6-10% de la cobertura de coral vivo										
	Pérdida de 0-5% de la cobertura de coral vivo										
ALGAS						ALGAS					
	Incremento de más del 21% en cualquiera de las categorías					20 A 40% TAPETES ALGALES 5 A 10% MACROALGAS 30 A 50% ALGAS CALCAREAS COSTROSAS					
	Incremento de 6-20% en cualquiera de las categorías										
	Incremento de 0-5% en cualquiera de las categorías										

FIGURA 4. Resultados temporales de la escala del ámbito de variación permisible para un sitio determinado.

Tomando en cuenta los cambios en el porcentaje de cobertura coralina y de algas se puede conocer la dinámica del ecosistema y aquellas variaciones que requieren medidas de manejo. Aunque son muchos los factores que pueden influir en los cambios observados, a manera general se pueden interpretar de la siguiente manera:

CUADRO 1

Interpretación de resultados de cobertura coralina según la escala del ámbito de variación permisible

Variación	Interpretación	Medidas de manejo
 PÉRDIDA DE 0-5%	La cobertura de corales duros se mantiene constante, con una variación mínima, o la cobertura ha aumentado. Estos cambios pueden ser producto de la variación espacial en la colocación de los transectos o por recuperación de la cobertura coralina.	Continuar con el monitoreo de este indicador
 PÉRDIDA DE 6-10%	La cobertura coralina ha disminuido ligeramente producto de factores de estrés, ya sean naturales o antropogénicos.	Analizar las causas probables de esta disminución y continuar con el monitoreo. Determinar si existe una pérdida continua de cobertura coralina y regular factores de presión como actividades turísticas, pesca, anclaje, etc.
 PÉRDIDA DE MÁS DE 11%	La cobertura coralina ha disminuido drásticamente producto de factores de estrés, ya sean naturales o antropogénicos.	Analizar las causas probables de esta disminución y continuar con el monitoreo. Determinar que factores están causando la mortalidad y gestionar medidas de manejo integrales que disminuyan impactos, tales como la sedimentación, estrés por turismo o pesca, calidad de aguas residuales, entre otras

CUADRO 2

Interpretación de resultados de cobertura de algas según la escala del ámbito de variación permisible

Variación	Interpretación	Medidas de manejo
 INCREMENTO DE 0-5%	La cobertura de algas se mantiene constante, con una variación mínima, o la cobertura ha disminuido. Estos cambios pueden ser producto de la variación espacial en la colocación de los transectos.	Continuar con el monitoreo de este indicador
 INCREMENTO DE 6-20%	La cobertura de algas ha aumentado ligeramente producto de factores naturales o antropogénicos. Se debe tomar en cuenta los cambios estacionales que presentan algunas macroalgas, los cuales hacen variar la cobertura dependiendo de la época del año.	Analizar las causas probables de este incremento y continuar con el monitoreo. Determinar si existe un aumento continuo de cobertura de algas y regular aquellos factores que la favorecen, tales como aumento de nutrientes producto de aguas residuales o sobrepesca de herbívoros.
 INCREMENTO DE MÁS DEL 21%	La cobertura de algas ha incrementado producto de factores externos, ya sean naturales o antropogénicos.	Analizar las causas probables de este incremento y continuar con el monitoreo. Determinar que factores están causando el aumento y gestionar medidas de manejo integrales que disminuyan impactos, tales como la sedimentación, escorrentía, sobrepesca, calidad de aguas residuales, entre otras. En el caso de <i>Caulerpa sertularioides</i> es indispensable prohibir el anclaje de las embarcaciones en el sitio y realizar un manejo estricto de las aguas residuales.

En general, bajo un intenso pastoreo por parte de peces y erizos de mar, los arrecifes están caracterizados por una baja biomasa del conjunto algas, los cuales son dominados por tapetes algales, y algunas algas coralinas costrosas (Steneck 1988). Además, la predominancia de corales y algas calcáreas en relación a las macroalgas foliosas es indicativo de condiciones con bajos nutrientes y una alta herbivoría (Littler *et al.* 2009). Así mismo, una alta cobertura de algas coralinas es indicativa de salud arrecifal (Guzman y Cortes 2001).

INDICADORES: Peces

INDICADOR 4

Densidad y riqueza de peces

ELEMENTO FOCAL DE MANEJO: Formaciones coralinas	
CATEGORÍA: Condición	ATRIBUTO CLAVE: Abundancia y diversidad
OBJETIVO: Conocer la dinámica de las poblaciones de peces en los arrecifes coralinos	
FRECUENCIA DEL MONITOREO: Dos veces al año (época seca y época lluviosa)	ESFUERZO DE MONITOREO: De 4 a 6 sitios distribuidos en el área de interés
HORARIO DE MONITOREO: De 8:00am a 4:00pm	ESPACIALIDAD: Arrecifes coralinos (áreas con la mayor cobertura de coral)
PERSONAL REQUERIDO: 3-4 funcionarios	CONOCIMIENTO PREVIO: Capacitación en identificación de especies de peces y de la metodología a implementar
EQUIPO REQUERIDO: Hoja de datos, tabla acrílica, lápiz, cintas métricas de 30 metros, cuadrícula (si se requiere), equipo de buceo completo, bote, computadora personal	
ESCALA DE SALUD: Se debe determinar la línea base de cada sitio	
ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:  0-20%  21-50%  más de 51% % de reducción de la densidad (ind/50m²) poblacional de las especies contabilizadas  0-10%  11-30%  más de 31% % de reducción del número de especies contabilizadas	

INDICADOR 5

Densidad de pez loro (Scaridae)

ELEMENTO FOCAL DE MANEJO: Formaciones coralinas

CATEGORÍA: Condición

ATRIBUTO CLAVE: Abundancia y diversidad

OBJETIVO: Conocer la dinámica de las poblaciones de peces loro en los arrecifes coralinos, y la posible sobreexplotación a la que puedan estar sometidas sus poblaciones

FRECUENCIA DEL MONITOREO: Dos veces al año (época seca y época lluviosa)

ESFUERZO DE MONITOREO: De 4 a 6 sitios distribuidos en el área de interés

HORARIO DE MONITOREO: De 8:00am a 4:00pm

ESPACIALIDAD: Arrecifes coralinos (áreas con la mayor cobertura de coral)

PERSONAL REQUERIDO: 3-4 funcionarios

CONOCIMIENTO PREVIO: Capacitación en identificación de especies de peces y de la metodología a implementar

EQUIPO REQUERIDO: Hoja de datos, tabla acrílica, lápiz, cintas métricas de 30 metros, cuadrícula (si se requiere), equipo de buceo completo, bote, computadora personal

ESCALA DE SALUD: 1 a 1.5 ind/m²

ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:

-  0-20%
-  21-50%
-  más de 51%

% de reducción de la densidad (ind/50m²) poblacional de peces loro contabilizados

INDICADOR 6

Densidad de pez león (*Pterois* spp.)

ELEMENTO FOCAL DE MANEJO: Formaciones coralinas

CATEGORÍA: Condición

ATRIBUTO CLAVE: Abundancia y diversidad

OBJETIVO: Conocer la dinámica de las poblaciones de pez león en los arrecifes coralinos, y la posible sobrepoblación de esta especie invasora en el Caribe de Costa Rica

FRECUENCIA DEL MONITOREO: Dos veces al año (época seca y época lluviosa)

ESFUERZO DE MONITOREO: De 4 a 6 sitios distribuidos en el área de interés

HORARIO DE MONITOREO: De 8:00am a 4:00pm

ESPACIALIDAD: Arrecifes coralinos (áreas con la mayor cobertura de coral)

PERSONAL REQUERIDO: 3-4 funcionarios

CONOCIMIENTO PREVIO: Capacitación en identificación de especies de peces y de la metodología a implementar

EQUIPO REQUERIDO: Hoja de datos, tabla acrílica, lápiz, cintas métricas de 30 metros, cuadrícula (si se requiere), equipo de buceo completo, bote, computadora personal

ESCALA DE SALUD: Se debe determinar la línea base de cada sitio

ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:

-  0-20%
-  21-50%
-  más de 51%

% de reducción de la densidad (ind/50m²) poblacional de peces león contabilizados

● Aspectos relevantes

Los peces juegan un papel muy importante en los arrecifes coralinos, ya que poseen una gran diversidad de funciones. Estos pueden ser depredadores, herbívoros, omnívoros, carroñeros, y por lo tanto llegan a controlar las poblaciones de otros peces, permitiendo que el ecosistema esté balanceado. La densidad de peces es un indicativo de la diversidad y estado de salud del arrecife, y puede ser interpretado como un indicador de fuentes de presión sobre el sistema. La predominancia de ciertos grupos, o la baja cantidad de especies o individuos puede ser indicativo de sobrepesca sobre el sistema.

ABUNDANCIA DE HERBÍVOROS: PECES LORO

Los peces loro han sido considerados especies clave en los arrecifes coralinos, pues al ser herbívoros controlan las poblaciones de algas y habilitan el sustrato para el crecimiento de corales (McClanahan & Arthur 2001, Hawkins & Roberts 2003). Se ha observado que el 90% de su actividad diaria la dedican a forrajear donde no sólo consumen gran cantidad de algas, sino que raspan el fondo con sus placas dentales dando como resultado una gran producción de arena. A pesar de lo anterior, estos peces son objetivo de pesca tanto en el Pacífico como en el Caribe de Costa Rica por lo que sus poblaciones podrían estar disminuyendo. El adecuado manejo de las especies de pez loro es vital para mejorar la resiliencia de los arrecifes coralinos, especialmente frente al aumento de la temperatura y los eventos de blanqueamiento que cada vez son más frecuentes.

ABUNDANCIA DE ESPECIES INVASORAS: PEZ LEÓN

El complejo de peces león (*Pterois miles* y *P. volitans*) son especies nativas del Indo Pacífico, donde se extrajeron individuos de su hábitat natural para suplir el mercado de acuarios. En Florida durante la década de 1980 se reportaron los primeros registros de estas especies invasoras en vida libre, posteriormente en la década de los 1990 ya había una densidades de población que permitieron la reproducción (Semmens *et al.* 2004, Meister *et al.* 2005, Freshwater *et al.* 2009). En el presente, los peces león están en diversas localidades del Atlántico Occidental, Golfo de México y Caribe (Schofield 2009, Cure *et al.* 2014). Para nuestro país los primeros registros se realizaron en 2008 en el Caribe Sur y ahora es una especie común en arrecifes del área (Sandel *et al.* 2015).

Debido a que los peces león tienen una alta plasticidad de adaptación a diferentes ambientes marinos, poca presencia y carga de parásitos respecto a su hábitat nativo, y el que los peces nativos del Caribe occidental no los reconocen como depredadores ha permitido el establecimiento de poblaciones viables. Esto ha afectado la diversidad y desplazamiento de especies nativas. Las densidades reportadas (#ind/ha) para el país, son mayores a las reportadas en su entorno original (Cure *et al.* 2014, Sandel *et al.* 2015).

● Detalle metodológico

PARTICIPATIVA: EXPERIENCIA BÁSICA EN MONITOREO

Para cuantificar la abundancia y diversidad de peces en el arrecife se deben realizar 3 transectos paralelos a la costa, en donde a lo largo de un túnel imaginario de 5 metros de ancho (2.5 metros a cada lado del transecto) y 5 metros de alto, se cuentan las **especies seleccionadas**

presentes en el transecto. El buzo encargado debe llevar una velocidad constante y no debe volver al inicio del transecto. Es importante mencionar que la toma de datos se realizará por transecto, es decir, al final del buceo se obtendrán 3 set de datos, uno para cada transecto.

Con el fin de tener una lista más completa de las especies de la zona, una vez finalizado el muestreo con la metodología del transecto, el buzo deberá reportar cualquier especie extra que se observe en los alrededores o aquellas especies crípticas que no son fácilmente visibles con el transecto. Lo anterior se realizará en una categoría llamada buzo errante.

La lista de especies o familias a contabilizar son las siguientes (tomado del protocolo participativo Reef Check para el Pacífico Oriental Tropical):

- Mariposas (Chaetodontidae)
- Roncadores (Haemulidae)
- Pargos (Lutjanidae)
- Pez Loro (Scaridae)
- Morenas (Muraenidae)
- Meros y Cabrillas (Serranidae)
- Vieja de Piedra (*Bodianus diplotaenia*)
- Angel Rey (*Holacanthus passer*)
- Pez Halcón (*Cirrhitus rivulatus*)
- Otros: determinados por el Área de Conservación

INSTITUCIONAL: EXPERIENCIA INTERMEDIA EN MONITOREO

Para cuantificar la abundancia y diversidad de peces en el arrecife se deben realizar 3 transectos paralelos a la costa, en donde a lo largo de un túnel imaginario de 5 metros de ancho (2.5 metros a cada lado del transecto) y 5 metros de alto, se cuenta, por especie, **todos** los individuos presentes en el transecto. **En esta metodología NO se contemplan las tallas de las especies ni las especies crípticas.** El buzo encargado debe llevar una velocidad constante y no debe volver al inicio del transecto. Es importante mencionar que la toma de datos se realizará por transecto, es decir, al final del buceo se obtendrán 3 set de datos, uno para cada transecto.

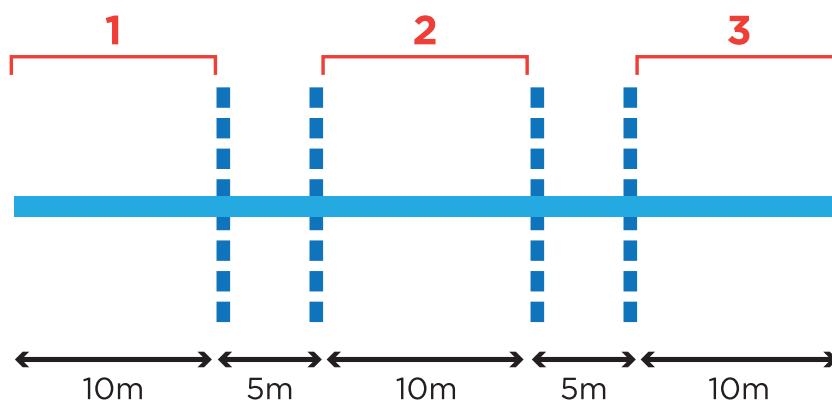
Con el fin de tener una lista más completa de las especies de la zona, una vez finalizado el muestreo con la metodología del transecto, el buzo deberá reportar cualquier especie extra que se observe en los alrededores o aquellas especies crípticas que no son fácilmente visibles con el transecto. Lo anterior se realizará en una categoría llamada buzo errante.

CIENTIFICA: EXPERIENCIA ALTA EN MONITOREO

Para cuantificar la abundancia y diversidad de peces en el arrecife se deben realizar 3 transectos paralelos a la costa, en donde a lo largo de un túnel imaginario de 5 metros de ancho (2.5 metros a cada lado del transecto) y 5 metros de alto, se cuenta, por especie, **todos** los individuos presentes en el transecto. Además de lo anterior, **los individuos contabilizados deben ser clasificados por rangos de tallas.** El buzo encargado debe llevar una velocidad constante y no debe volver al inicio del transecto. Es importante mencionar que la toma de datos se realizará por transecto, es decir, al final del buceo se obtendrán 3 set de datos, uno para cada transecto.

Con el fin de tener una lista más completa de las especies de la zona, una vez finalizado el muestreo con la metodología del transecto, el buzo deberá reportar cualquier especie extra que se observe en los alrededores o aquellas especies crípticas que no son fácilmente detectables durante el transecto. Lo anterior se realizará en una categoría llamada buzo errante.

Diagrama de la metodología



● Ambito de variación permisible

Es importante determinar la línea base en cada zona, y en base a ello verificar el comportamiento de las densidades a través del tiempo de acuerdo a los rangos de variación permisible.

NOTA: Este criterio no aplica para las especies invasoras, ya que un aumento en su densidad siempre debe considerarse en un rango de variación permisible rojo.

Abundancia de peces (densidad, ind/m²): Estos pueden ser aplicados para especies específicas o para el total general de peces observados. En el caso del análisis a nivel de especie, se debe tener en cuenta la biología de las especies y su asociación con los arrecifes, ya sean especies residentes (se observan más del 70% de las veces, ej. peces loro), estacionales (se observan específicamente en una época del año, ej. pargos), ocasionales (se observan entre un 20% y 70% de las veces, ej. jureles) o raras (usualmente son altamente migratorias y su probabilidad de observarlas es menos del 20% de las veces, ej. tiburón ballena). Se recomienda aplicar la escala presente en el cuadro del indicador únicamente a especies residentes o aquellas estacionales a las cuales se ha determinado con exactitud la época de su presencia en el área.

Diversidad de peces (número de especies): Una vez determinada la línea base se deben tener en cuenta los siguientes porcentajes basado en el número total de especies observadas, tanto con la metodología del transecto como la del buzo errante.

● Análisis e interpretación de los datos

Cada vez que se regresa de los sitios de buceo, los datos de peces deben ser revisado y digitados. Esto debido a que durante la toma de datos pueden surgir dudas entre especies similares, lo cual debe ser corroborado lo antes posible. Tanto la lista de especies como la abundancia deben digitarse en el documento de Excel elaborado para estos indicadores. Este documento posee tanto el nombre científico como el nombre común de los peces por lo que el ingreso de los datos es bastante sencillo. Primeramente, se debe completar la información del Sitio (Fig. 5)

SITIO		HORA		LAT (N)	
FECHA		PROF		LONG (W)	
BUZO		VISIBILIDAD			

FIGURA 5. Datos del sitio evaluado a completar por cada uno de los observadores.

Seguidamente se deben buscar la especies observadas y completar las abundancias en cada uno de los transectos (Fig. 6). En ese mismo recuadro aparecerá el promedio y la desviación estándar de cada especie. Además, en la última columna se pondrá un 1 en aquellas especies observadas tanto dentro como fuera de los transectos de manera que tengamos el recuento total de especies del sitio y con esto la riqueza de especies. En el caso de las especies de tiburones y rayas, al ser especies raras, deben digitar el nombre de las especies de manera manual en el recuadro que se presenta en la Fig. 7.

FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMÚN	DENSIDAD (ind/50m2)			DENSIDAD PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR	BUZO ERRANTE
			T1	T2	T3			
Acanthuridae	<i>Acanthurus nigricans</i>	Cirujano Cariblanco	0	0	0	0	0	0
Acanthuridae	<i>Acanthurus triostegus</i>	Cirujano Reo	0	0	0	0	0	0
Acanthuridae	<i>Acanthurus xanthopterus</i>	Cirujano Aleta Amarilla	0	0	0	0	0	0
Acanthuridae	<i>Ctenochaetus marginatus</i>	Cirujano Estriado	0	0	0	0	0	0
Acanthuridae	<i>Prionurus laticlavus</i>	Cochinito Barbero (Cirujano)	0	0	0	0	0	0
Acanthuridae	<i>Prionurus punctatus</i>	Cochinito punteado	0	0	0	0	0	0
Apogonidae	<i>Apogon dovii</i>	Cardenal colimanchada	0	0	0	0	0	0
Apogonidae	<i>Apogon pacificus</i>	Cardenal morro listado	0	0	0	0	0	0
Apogonidae	<i>Apogon retosell</i>	Cardenal de Cortés	0	0	0	0	0	0
Aulostomidae	<i>Aulostomus chinensis</i>	Trompeta china	0	0	0	0	0	0
Balistidae	<i>Balistes polylepis</i>	Trigger fish (Cochi)	0	0	0	0	0	0
Balistidae	<i>Pseudobalistes naufragium</i>	Trigger fish (Cochita bota)	0	0	0	0	0	0
Balistidae	<i>Sufflamen verres</i>	Chancho naranja	0	0	0	0	0	0
Belontiidae		Agujas	0	0	0	0	0	0
Blenniidae	<i>Ophioblennius steindachneri</i>	Borracho mono	0	0	0	0	0	0
Blenniidae	<i>Plagiotremus azaleus</i>	Diente sable, borracho	0	0	0	0	0	0
Carangidae	<i>Alectis ciliaris</i>	Pámpano de Hebra	0	0	0	0	0	0
Carangidae	<i>Caranx caballus</i>	Jurel Bonito	0	0	0	0	0	0
Carangidae	<i>Caranx caninus</i>	Jurel Toro	0	0	0	0	0	0
Carangidae	<i>Caranx lugubris</i>	Jurel Negro	0	0	0	0	0	0
Carangidae	<i>Caranx melampygus</i>	Jurel Azul	0	0	0	0	0	0
Carangidae	<i>Caranx orthogrammus</i>	Jurel Isleño	0	0	0	0	0	0
Carangidae	<i>Caranx sexfasciatus</i>	Jurel Ojón (Voraz)	0	0	0	0	0	0
Carangidae	<i>Decapterus macarellus</i>	Macarela Caballa	0	0	0	0	0	0
Carangidae	<i>Decapterus muroadsi</i>	Macarela plátano	0	0	0	0	0	0
Carangidae	<i>Elogatis bipinnulata</i>	Macarela Salmón	0	0	0	0	0	0
Carangidae	<i>Gnathanodon speciosus</i>	Jurel Dorado	0	0	0	0	0	0
Carangidae	<i>Naucrates ductor</i>	Pez Piloto	0	0	0	0	0	0
Carangidae	<i>Seriola rivoliana</i>	Ojarán (Medregal Limón)	0	0	0	0	0	0
Carangidae	<i>Trachinotus rhodopus</i>	Pampano Fino	0	0	0	0	0	0
Carangidae	<i>Trachinotus stilbe</i>	Pampano Acerado	0	0	0	0	0	0
Chaenopsidae	<i>Acanthemblemaria exilispinus</i>	Tubícola Jaspeado	0	0	0	0	0	0
Chaenopsidae	<i>Acanthemblemaria hancoki</i>	Tubícola Rubi	0	0	0	0	0	0
Chaenopsidae	<i>Mccoskerichthys sandae</i>	Tubícola penacho	0	0	0	0	0	0

FIGURA 6. Hoja de ingreso de datos digital para los indicadores de peces.

TIBURONES Y RAYAS							
ESPECIE	NOMBRE COMÚN	DENSIDAD (Ind/50m2)			DENSIDAD PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR	BUZO ERRANTE
		T1	T2	T3			
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0</

FIGURA 7. Ingreso de especies de tiburones y rayas observados durante los transectos.

Una vez digitados todos los datos, se obtendrá un cuadro resumen con los valores obtenidos para cada indicador, así como un resumen de la densidad de peces por familia (Fig. 8). Estos valores por familia nos ayudan a evaluar aquellos grupos de interés específicos para cada Área Protegida, por ejemplo los pargos, que son de importancia comercial y cuyas poblaciones pueden verse reducidas fácilmente por sobrepesca.

	RESULTADOS	
	TOTAL DE ESPECIES OBSERVADAS	
	DENSIDAD TOTAL DE PECES (ind/50m2)	
	DENSIDAD DE PECES LOROS (ind/50m2)	
	DENSIDAD DE TIBURONES Y RAYAS (ind/50m2)	#REF!
RESUMEN POR FAMILIA		
FAMILIA	NOMBRE COMUN	DENSIDAD (ind/50m2)
Acanthuridae	Peces Cirujano	
Aulostomidae	Peces Trompeta	
Balistidae	Peces Chancho	
Carangidae	Jureles	
Chaetodontidae	Peces Mariposa	
Cirrhitidae	Halcones	
Diodontidae	Peces Erizo	
Fistularidae	Peces Corneta	
Haemulidae	Roncadores	
Holocentridae	Peces Ardilla	
Kyphosidae	Chopas	
Labridae	Viejas y Señoritas	
Lutjanidae	Pargos	
Muraenidae	Morenas	
Pomacanthidae	Ángeles	
Pomacentridae	Sargentos, Damiselas y Tijeretas	
Scaridae	Peces Loro	
Scombridae	Atunes y Macarelas	
Serranidae	Meros y Cabrillas	
Sphyrnidae	Barracudas	
Tetraodontidae	Peces Globo, Timboriles o Botetes	
Zanclidae	Idolo Moro	
Tiburones v Rayas	Tiburones y Rayas	

FIGURA 8. Resultados de la densidad de peces por familia observadas en los transectos.

Cada sitio contará con su documento de Excel, y dentro de él, cada pestaña corresponde a un monitoreo realizado. Debido a esto, el documento debe guardarse con el nombre del sitio, y cada pestaña interna deberá indicar el mes y año en el cual se realizó el monitoreo.

Una vez obtenido los resultados de peces, los promedios deberán ser ingresados en la última pestaña llamada Variación Anual, donde automáticamente aparece la escala de colores del ámbito de variación permisible que cambiará de color según los resultados obtenidos en el monitoreo actual con respecto al anterior (Fig. 9). Cabe tomar en cuenta que el ámbito de variación permisible sólo refleja la dinámica del sustrato en el arrecife con el paso del tiempo y no así su estado de salud. Este último debe identificarse tomando en cuenta los valores de Escala de Salud presentes en el cuadro de cada indicador.

AMBITO DE VARIACION PERMISIBLE									
DENSIDAD TOTAL	DIC_2015	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO
	20.50	30.50	15.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PÉRDIDA o GANANCIA	LB	48.78	-50.16	-100.00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	LB				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
DENSIDAD LORO	DIC_2015	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO
	12.30	28.50	15.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PÉRDIDA o GANANCIA	LB	131.71	-46.67	-100.00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	LB				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
RIQUEZA ESPECIES	DIC_2015	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO
	14.00	25.00	15.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PÉRDIDA o GANANCIA	LB	78.57	-39.20	-100.00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	LB				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
SIMBOLOGÍA AMBITO DE VARIACION PERMISIBLE									
DENSIDAD TOTAL									
	Reducción de más de 51% en la densidad poblacional								
	Reducción de un 21 a 50% de la densidad poblacional								
	Reducción de un 0 a 20% de la densidad poblacional								
DENSIDAD LORO									
	Reducción de más de 41% en la densidad poblacional								
	Reducción de un 21 a 40% de la densidad poblacional								
	Reducción de un 0 a 20% de la densidad poblacional								
RIQUEZA ESPECIES									
	Pérdida de más de un 31% de las especies								
	Pérdida de un 11 a 30% de las especies								
	Pérdida de 0 a 10% de las especies								

FIGURA 9. Resultados temporales de la escala del ámbito de variación permisible para un sitio determinado.

Tomando en cuenta los cambios en la densidad de peces se puede conocer la dinámica del ecosistema y aquellas variaciones que requieren medidas de manejo. Aunque son muchos los factores que pueden influir en los cambios observados, a manera general se pueden interpretar de la siguiente manera:

CUADRO 3
Interpretación de la pérdida de la densidad
de peces en los sitios de monitoreo

Variación	Interpretación	Medidas de manejo
 PÉRDIDA DE 0-20%	Variaciones en este rango pueden deberse a cambios estacionales en algunas poblaciones de peces, así como cambios en la visibilidad entre los monitoreos, e incluso variaciones entre observadores.	Continuar con el monitoreo de este indicador
 PÉRDIDA DE 21-50%	Una reducción en este rango podría deberse a presiones ambientales o antropogénicas, tales como cambios en la temperatura del agua o sobrepesca.	Determinar posibles impactos que puedan estar afectando las poblaciones de peces de manera local y con ello proponer medidas, por ejemplo regulación de la pesca, vedas, entre otras.
 PÉRDIDA DE MÁS DEL 51%	La reducción en más de la mitad de la densidad de peces indica que las poblaciones han sido afectadas drásticamente por factores ambientales o antropogénicos. Esta afectación podría ser estacional, sin embargo, esto será determinado por la continuidad en los monitoreos.	Realizar monitoreos continuos, de ser posible mensuales, que determinen si esta afectación es constante y no se debe a variaciones estacionales. Una vez confirmada la reducción en la densidad se deben tomar medidas como prohibición de la pesca y aquellas prácticas que contribuyan con la disminución de las poblaciones

CUADRO 4

Interpretación de la pérdida de la riqueza de peces en los sitios de monitoreo

Variación	Interpretación	Medidas de manejo
 PÉRDIDA DE 0-10%	Variaciones en este rango pueden deberse a cambios estacionales, así como cambios en la visibilidad entre los monitoreos, e incluso variaciones entre observadores.	Continuar con el monitoreo de este indicador
 PÉRDIDA DE 11-30%	Una reducción en este rango podría deberse a presiones ambientales o antropogénicas, comportamientos migratorios de especies no residentes de arrecife o variaciones entre observadores.	Determinar las especies faltantes con base en los monitoreos anteriores y con ello analizar las posibles causas de la ausencia de estas especies en el monitoreo actual. Si se tratan de especies residentes de arrecife se debe determinar si son especies objetivo de pesca o si su afectación es por factores ambientales.
 PÉRDIDA DE MÁS DEL 31%	La reducción en más de la mitad de la densidad de peces indica que las poblaciones han sido afectadas drásticamente por factores ambientales o antropogénicos. Esta afectación podría ser estacional, sin embargo, esto será determinado por la continuidad en los monitoreos.	Realizar monitoreos continuos, de ser posible mensuales, que determinen si esta afectación es constante y no se debe a variaciones estacionales. Una vez confirmada la reducción en la densidad se deben tomar medidas como prohibición de la pesca y aquellas prácticas que contribuyan con la disminución de las poblaciones

En el caso del pez loro, las reducciones en sus poblaciones deben analizarse detenidamente pues son especies residentes de los arrecifes por lo que sus poblaciones deberían ser constantes a lo largo del tiempo. Estos peces son objetivo de pesca y su comercialización es cada vez mayor. Al ser especies claves en el control de algunas especies de macroalgas y habilitar el sustrato para el crecimiento de corales, su conservación en las áreas marinas protegidas debe ser efectiva.

Especies introducidas como el pez León en el Caribe, debe mantenerse bajo monitoreo constante de manera que se puedan tomar medidas de manejo para controlar sus poblaciones. Ante un aumento considerable, se deben proponer actividades de extracción y aprovechamiento de este recurso.

INDICADORES: Macroinvertebrados

INDICADOR 7

Densidad y riqueza de macroinvertebrados

ELEMENTO FOCAL DE MANEJO: Formaciones coralinas	
CATEGORÍA: Condición	ATRIBUTO CLAVE: Abundancia y diversidad
OBJETIVO: Conocer la dinámica de las poblaciones de macroinvertebrados en los arrecifes coralinos	
FRECUENCIA DEL MONITOREO: Dos veces al año (época seca y época lluviosa)	ESFUERZO DE MONITOREO: De 4 a 6 sitios distribuidos en el área de interés
HORARIO DE MONITOREO: De 8:00am a 4:00pm	ESPACIALIDAD: Arrecifes coralinos (áreas con la mayor cobertura de coral)
PERSONAL REQUERIDO: 3-4 funcionarios	CONOCIMIENTO PREVIO: Capacitación en identificación de especies de macroinvertebrados y de la metodología a implementar
EQUIPO REQUERIDO: Hoja de datos, tabla acrílica, lápiz, cintas métricas de 30 metros, cuadrícula (si se requiere), equipo de buceo completo, bote, computadora personal	
ESCALA DE SALUD: Se debe determinar la línea base de cada sitio	
ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:  0-20%  21-50%  más de 51%  0-10%  11-30%  más de 31% % de reducción de la densidad (ind/m²) poblacional de los macroinvertebrados contabilizados % de reducción del número de especies contabilizados	

INDICADOR 8

Densidad del erizo de mar (*Diadema* spp.)

ELEMENTO FOCAL DE MANEJO: Formaciones coralinas

CATEGORÍA: Condición

ATRIBUTO CLAVE: Abundancia

OBJETIVO: Conocer la dinámica de las poblaciones del erizo de mar *Diadema* en los arrecifes coralinos, y las consecuencias del aumento y la disminución de su densidad en la salud de estos ecosistemas

FRECUENCIA DEL MONITOREO: Dos veces al año (época seca y época lluviosa)

ESFUERZO DE MONITOREO: De 4 a 6 sitios distribuidos en el área de interés

HORARIO DE MONITOREO: De 8:00am a 4:00pm

ESPACIALIDAD: Arrecifes coralinos (áreas con la mayor cobertura de coral)

PERSONAL REQUERIDO: 3-4 funcionarios

CONOCIMIENTO PREVIO: Capacitación en identificación de macroinvertebrados y de la metodología a implementar

EQUIPO REQUERIDO: Hoja de datos, tabla acrílica, lápiz, cintas métricas de 30 metros, cuadrícula (si se requiere), equipo de buceo completo, bote, computadora personal

ESCALA DE SALUD: De 1 a 2 ind/m²

ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:

- 0-10%
- 11-50%
- más de 51%

% de aumento o reducción de la densidad (ind/m²) poblacional respecto al valor ideal (de 1 a 2 ind/m²)

INDICADOR 9

Densidad de la estrella de mar (*Acanthaster planci*)

ELEMENTO FOCAL DE MANEJO: Formaciones coralinas

CATEGORÍA: Condición

ATRIBUTO CLAVE: Abundancia

OBJETIVO: Conocer la dinámica de las poblaciones de la estrella de mar *Acanthaster planci* en los arrecifes coralinos, y las consecuencias de un aumento en las poblaciones

FRECUENCIA DEL MONITOREO: Dos veces al año (época seca y época lluviosa)

ESFUERZO DE MONITOREO: De 4 a 6 sitios distribuidos en el área de interés

HORARIO DE MONITOREO: De 8:00am a 4:00pm

ESPACIALIDAD: Arrecifes coralinos (áreas con la mayor cobertura de coral)

PERSONAL REQUERIDO: 3-4 funcionarios

CONOCIMIENTO PREVIO: Capacitación en identificación de macroinvertebrados y de la metodología a implementar

EQUIPO REQUERIDO: Hoja de datos, tabla acrílica, lápiz, cintas métricas de 30 metros, cuadrícula (si se requiere), equipo de buceo completo, bote, computadora personal

ESCALA DE SALUD: Menos de 15 ind/hectárea (0.0015 ind/m²)

ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:

- 0-10%
- 11-50%
- más de 51%

% de aumento de la densidad (ind/m²) poblacional respecto al valor ideal (de 1 a 2 ind/m²)

● Aspectos relevantes

Los macroinvertebrados móviles forman parte de la fauna que habita y se alimenta en los arrecifes coralinos. Los cambios en la densidad de estos organismos son indicativos del estado y diferentes presiones que afectan el sistema y por tanto se puede tomar como alertas para el manejo del ecosistema. Los macroinvertebrados se definen como animales de más de 2.5 cm en estado de madurez, gasterópodos grandes, pulpos, nudibranquios, crinoideos, pepinos de mar, estrellas de mar, erizos de mar, langostas y cangrejos grandes.

ABUNDANCIA DE *Diadema* spp.

Los erizos de mar del género *Diadema* juegan un papel importante en áreas arrecifales debido a su efecto significativo en la biomasa, estructura y distribución de algas, así como en la composición de corales y la geomorfología del arrecife debido a que son bioerosionadores importantes (Birkeland 1989). Densidades bajas o moderadas pueden causar una erosión substancial, pero densidades altas pueden llevar a una rápida pérdida de la estructura arrecifal (Glynn 1997). Altas densidades reducen la biomasa de macroalgas, permitiendo que dominen las algas filamentosas o de tapete, lo que facilita una mayor supervivencia de reclutas de coral y favorece una competencia de recursos entre erizos y peces herbívoros (Sammarco *et al.* 1974, Sammarco 1980, 1982a, b), provocando que la comunidad coralina esté dominada por corales y tapetes algales (Carpenter 1997). Un menor número de erizos provoca un incremento en la biomasa algal, permitiendo que dominen las macroalgas, lo que disminuye la supervivencia de reclutas de coral, sobrecreciendo y causando abrasión en el coral, e incrementando el tamaño de la población de peces herbívoros (Sammarco 1980, 1982a, b, Carpenter 1997).

ABUNDANCIA DE *Acanthaster planci*

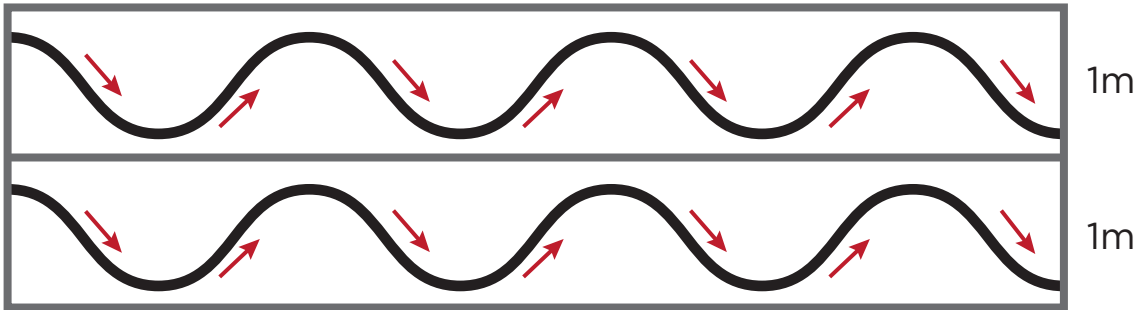
La estrella corona de espinas *Acanthaster planci* puede llegar a medir de 25 a 35 cm de diámetro con aproximadamente 21 brazos. Su cuerpo está cubierto de espinas y presenta colores rojizos llamativos. Esta estrella es de distribución amplia, encontrándose tanto en el Pacífico Tropical Oriental como en el Indopacífico. En el Indopacífico sus poblaciones han aumentado desde 1985, lo que ha llegado a ser problemático en los arrecifes coralinos, pues su dieta se basa en corales duros (Lourey *et al.* 2000). Las explosiones poblacionales se han atribuido a la desaparición de sus depredadores por sobrepesca y a los cambios en la temperatura del agua (Birkeland & Lucas 1990). Se estima que densidades elevadas de esta estrella de mar pueden alterar la estructura bentónica por lo que es importante tener conocimiento de la dinámica de sus poblaciones. En el Pacífico Tropical Oriental, *Acanthaster* se encuentra en densidades bajas por lo que no representa una amenaza para los arrecifes coralinos, no obstante su monitoreo es importante para determinar algún cambio futuro que pueda presentarse en sus poblaciones.

● Detalle metodológico

En el caso de macroinvertebrados móviles se utilizan los mismos 3 transectos de peces y cobertura, solo que en este caso se contabilizan todos los macroinvertebrados presentes a 1 metro a cada lado del transecto. Igualmente, se debe obtener una lista de especies o grupos, y su abundancia por transecto. El buzo encargado debe buscar entre las grietas del sustrato y en cuevas, de manera que se tenga un buen estimado de abundancia. Los macroinvertebra-

dos se definen como animales de más de 2.5 cm en estado de madurez, tales como: gasterópodos grandes (ej. cambutes), pulpos, nudibranquios (babosas marinas), pepinos de mar, estrellas de mar, erizos de mar (deben ser identificados por especie), langostas (deben ser identificadas por especie) y cangrejos grandes.

Diagrama de la Metodología



● **Ámbito de variación permisible**

Los valores de densidad del erizo de mar *Diadema* considerados como saludables están establecidos en 1-2 ind/m², mientras que para la estrella de mar *Acanthaster planci* es menor a 0.015 ind/m². Para el resto de los macroinvertebrados es importante determinar la línea base en cada zona, y verificar el comportamiento de las densidades a través del tiempo de acuerdo a los rangos de variación permisible. Este criterio no aplica para las especies invasoras, ya que un aumento en su densidad siempre debe considerarse en un rango de variación permisible rojo. Además, se recomienda analizar este indicador por especie o grupo identificado con el fin de detectar cambios en la dinámica de manera específica.

● **Análisis e interpretación de los datos**

Cada vez que se regresa de los sitios de buceo, los datos de macroinvertebrados deben ser revisados y digitados. Esto debido a que durante la toma de datos pueden surgir dudas entre especies similares, lo cual debe ser corroborado lo antes posible. Tanto la lista de especies como la abundancia deben digitarse en el documento de Excel elaborado para estos indicadores. Este documento posee tanto el nombre científico como el nombre común de los macroinvertebrados por lo que el ingreso de los datos es bastante sencillo. Primeramente, se debe completar la información del Sitio (Fig. 10)

SITIO		HORA		LAT (N)	
FECHA		PROF		LONG (W)	
BUZO		VISIBILIDAD			

FIGURA 10. Datos del sitio evaluado a completar por cada uno de los observadores.

Seguidamente se deben buscar la especies observadas y completar las abundancias en cada uno de los transectos (Figura 11). En ese mismo recuadro aparecerá el promedio y la desviación estándar de cada especie.

NOMBRE COMÚN	ESPECIE O GENERO	DENSIDAD (ind/10m2)			PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR
		T1	T2	T3		
LANGOSTA	<i>Panulirus gracilis</i>	0	0	0	0	0
LANGOSTA	<i>Panulirus penicillatus</i>	0	0	0	0	0
CAMBUTE	<i>Strombus galeatus</i>	0	0	0	0	0
CAMBUTES	<i>Strombus spp.</i>	0	0	0	0	0
OSTRA PERLERA	<i>Pinctada mazatlanica</i>	0	0	0	0	0
OSTRAS		0	0	0	0	0
PULPOS		0	0	0	0	0
BABOSAS		0	0	0	0	0
ERIZO DE MAR	<i>Diadema mexicanum</i>	0	0	0	0	0
ERIZO DE MAR	<i>Echinometra spp.</i>	0	0	0	0	0
ERIZO DE MAR	<i>Toxopneustes roseus</i>	0	0	0	0	0
ERIZO DE MAR	<i>Tripneustes depressus</i>	0	0	0	0	0
ERIZO DE MAR	<i>Astropyga pulvinata</i>	0	0	0	0	0
ERIZO DE MAR	<i>Lytechinus pictus</i>	0	0	0	0	0
ERIZO DE MAR	<i>Eucidaris spp.</i>	0	0	0	0	0
PEPINOS		0	0	0	0	0
ESTRELLA	<i>Acanthaster planci</i>	0	0	0	0	0
ESTRELLAS		0	0	0	0	0
CANGREJOS		0	0	0	0	0
				TOTAL	0	

FIGURA 11. Hoja de ingreso de datos digital para los indicadores de macroinvertebrados.

Una vez digitados todos los datos, se obtendrá un cuadro resumen con la densidad de macroinvertebrados por grupos (Figura 12). Estos valores por grupos nos ayudan a evaluar aquellos invertebrados de interés específicos para cada Área Protegida, por ejemplo los erizos de mar, que son controladores de las poblaciones de algas y habilitan el sustrato para el crecimiento de otros organismos bentónicos.

DENSIDAD POR GRUPO	
LANGOSTAS	0
CAMBUTES	0
OSTRAS	0
PULPOS	0
BABOSAS	0
ERIZOS	0
PEPINOS	0
ESTRELLAS	0
CANGREJOS	0

FIGURA 12. Resultados de la densidad de macroinvertebrados por grupo observados en los transectos.

Cada sitio contará con su documento de Excel, y dentro de él, cada pestaña corresponde a un monitoreo realizado. Debido a esto, el documento debe guardarse con el nombre del sitio, y cada pestaña interna deberá indicar el mes y año en el cual se realizó el monitoreo.

Una vez obtenido los resultados de macroinvertebrados, los promedios deberán ser ingresados en la última pestaña llamada Variación Anual, donde automáticamente aparece la escala de colores del ámbito de variación permisible que cambiará de color según los resultados obtenidos en el monitoreo actual con respecto al anterior (Fig. 13). Cabe tomar en cuenta que el ámbito de variación permisible sólo refleja la dinámica del sustrato en el arrecife con el paso del tiempo y no así su estado de salud. Este último debe identificarse tomando en cuenta los valores de Escala de Salud presentes en el cuadro de cada indicador.

AMBITO DE VARIACION PERMISIBLE									
DENSIDAD TOTAL	DIC_2015	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO
	6.20	3.50	5.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PÉRDIDA o GANANCIA	LB	-43.55	42.86	-20.00	-100.00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	LB					#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
DENSIDAD DIADEMA	DIC_2015	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PÉRDIDA o GANANCIA	LB	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	LB	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
DENSIDAD ACANTHASTER	DIC_2015	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PÉRDIDA o GANANCIA	LB	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	LB	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
RIQUEZA ESPECIES	DIC_2015	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PÉRDIDA o GANANCIA	LB	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	LB	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
SIMBOLOGÍA AMBITO DE VARIACION PERMISIBLE									
DENSIDAD TOTAL	Reducción de más de 51% en la densidad poblacional								
	Reducción de un 21 a 50% de la densidad poblacional								
	Reducción de un 0 a 20% de la densidad poblacional								
DENSIDAD DIADEMA	Aumento o disminución de más de un 51% de la densidad ideal								
	Aumento o disminución de un 11 a un 50% de la densidad ideal								
	Aumento o disminución de un 0 a un 10% de la densidad ideal								
DENSIDAD ACANTHASTER	Aumento de más de un 41% de la población								
	Aumento de un 21 a un 40% de la población								
	Aumento de un 0 a un 20% de la población								
RIQUEZA ESPECIES	Pérdida de más de un 31% de las especies								
	Pérdida de un 11 a 30% de las especies								
	Pérdida de 0 a 10% de las especies								

FIGURA 13. Resultados temporales de la escala del ámbito de variación permisible para un sitio determinado.

Tomando en cuenta los cambios en la densidad de macroinvertebrados se puede conocer la dinámica del ecosistema y aquellas variaciones que requieren medidas de manejo. Aunque son muchos los factores que pueden influir en los cambios observados, a manera general se pueden interpretar de la siguiente manera:

CUADRO 5

Interpretación de la pérdida de la densidad de macroinvertebrados en los sitios de monitoreo

Variación	Interpretación	Medidas de manejo
 PÉRDIDA DE 0-20%	Variaciones en este rango pueden deberse a cambios en la colocación de los transectos, pues algunas especies se encuentran agrupadas en áreas específicas.	Continuar con el monitoreo de este indicador
 PÉRDIDA DE 21-50%	Una reducción en este rango podría deberse a presiones ambientales o antropogénicas, tales como cambios en la temperatura del agua, calidad de agua o sobrepesca.	Determinar posibles impactos que puedan estar afectando las poblaciones de macro invertebrados de manera local y con ello proponer medidas de manejo por ejemplo regulación de la pesca, vedas, entre otras.
 PÉRDIDA DE MÁS DEL 51%	La reducción en más de la mitad de la densidad de macroinvertebrados indica que las poblaciones han sido afectadas drásticamente por factores ambientales o antropogénicos.	Analizar las posibles causas de esta reducción a nivel de grupo, pues de ello dependerá las medidas que se deban tomar. En el caso de especies de importancia comercial como langosta y cambute, se deberá reforzar el control y protección en el área protegida.

CUADRO 6

Interpretación de la pérdida de la riqueza de macroinvertebrados en los sitios de monitoreo

Variación	Interpretación	Medidas de manejo
 PÉRDIDA DE 0-10%	Variaciones en este rango pueden deberse a cambios en la colocación de los transectos, pues algunas especies se encuentran agrupadas en áreas específicas.	Continuar con el monitoreo de este indicador
 PÉRDIDA DE 11-30%	Una reducción en este rango podría deberse a presiones ambientales o antropogénicas, o variaciones entre observadores.	Determinar las especies faltantes con base en los monitoreos anteriores y con ello analizar las posibles causas de la ausencia de estas especies en el monitoreo actual. Se debe determinar si son especies objetivo de pesca o si su afectación es por factores ambientales.
 PÉRDIDA DE MÁS DEL 31%	La reducción en más de la mitad de la densidad de macroinvertebrados indica que las poblaciones han sido afectadas drásticamente por factores ambientales o antropogénicos.	Realizar monitoreos continuos, de ser posible bimensuales, que determinen si esta afectación es constante. Una vez confirmada la reducción en la densidad se deben tomar medidas como control de la pesca y aquellas prácticas que contribuyan con la disminución de las poblaciones.

En el caso del erizo de mar *Diadema* spp., las reducciones en sus poblaciones deben analizarse detenidamente pues son especies clave en el control del crecimiento de macroalgas y tapetes algales, lo cual habilita el sustrato para el asentamiento y crecimiento de diferentes especies de corales y otros organismos bentónicos. Disminuciones en sus poblaciones por debajo del valor ideal (1 a 2 ind/m²) podría significar un desequilibrio en las poblaciones de macroalgas, y un aumento en las poblaciones por encima de este valor podría poner en peligro la complejidad del arrecife pues los erizos son bioerosionadores del sustrato.

Especies como la estrella de mar *Acanthaster planci*, debe mantenerse bajo monitoreo constante de manera que se conozca la dinámica de sus poblaciones y se puedan tomar medidas adecuadas en caso de ser requeridas. En el Indopacífico, esta especie ha sido considerada una amenaza pues se alimenta de corales y sus densidades han aumentado drásticamente. En el Pacífico de Costa Rica, las densidades de esta estrella se encuentran en un rango normal por lo que actualmente no se considera un peligro para la cobertura coralina. No obstante un monitoreo constante permitirá evaluar los sitios donde es más frecuente su avistamiento y estar preparados en caso de una explosión poblacional.

INDICADORES: Complejidad arrecifal

INDICADOR 9

Complejidad arrecifal

ELEMENTO FOCAL DE MANEJO: Formaciones coralinas	
CATEGORÍA: Contexto paisajístico	ATRIBUTO CLAVE: Rugosidad
OBJETIVO: Conocer la rugosidad de los arrecifes coralinos y su relación con la riqueza de especies y la salud del ecosistema	
FRECUENCIA DEL MONITOREO: Dos veces al año (época seca y época lluviosa)	ESFUERZO DE MONITOREO: De 4 a 6 sitios distribuidos en el área de interés
HORARIO DE MONITOREO: De 8:00am a 4:00pm	ESPACIALIDAD: Arrecifes coralinos (áreas con la mayor cobertura de coral)
PERSONAL REQUERIDO: 3-4 funcionarios	CONOCIMIENTO PREVIO: Buen manejo de la flotabilidad y conocimiento de la metodología a implementar
EQUIPO REQUERIDO: Hoja de datos, tabla acrílica, lápiz, cintas métricas de 30 metros, cadena de 10 metros, equipo de buceo completo, bote, computadora personal	
ESCALA DE SALUD: Índice de rugosidad (IR): Valores por encima de 0.5 Índice de Complejidad Arrecifal: Valores por encima de 1.99	
ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE: ● 0-10% ● 11-40% ● más de 41% % de reducción en el índice de rugosidad del arrecife coralino	

● Aspectos relevantes

Un arrecife puede tener una alta cobertura de coral vivo, pero una baja complejidad arrecifal, con lo cual se limitan los espacios para refugio y protección, y por consiguiente puede traer una baja riqueza, abundancia y biomasa de peces e invertebrados (Álvarez-Filipet *al.* 2011). La falta de complejidad arrecifal actúa como un impulso positivo para reforzar un estado degradado del arrecife donde dominan las algas.

● Detalle metodológico

Para determinar la rugosidad (R) del sustrato, se extiende una cadena de 10 m de largo con eslabones de 1 cm, siguiendo el contorno del fondo a lo largo de los transectos de cobertura coralina. Posteriormente, se mide la distancia total en línea recta del punto de inicio al punto final de la cadena (Rogers *et al.* 2001). Este procedimiento se repite tres veces por sitio. La rugosidad y el índice de rugosidad se calcula con las siguientes fórmula:

$$\text{Rugosidad (R)} = \frac{\text{Distancia recorrida por la cadena sobre el fondo}}{\text{Largo total de la cadena}}$$

El índice de rugosidad (IR) corresponde a la fórmula: $1 - R$ (Aronson & Precht 1995), donde valores cercanos a 0 representan arrecifes planos, mientras que valores cercanos a 1 representan arrecifes rugosos o más complejos morfológicamente.

Diagrama de la metodología



● Ámbito de variación permisible

Para cada sitio se debe determinar la complejidad base, lo cual debe ser realizado por un buzo con buen manejo de la flotabilidad y manejo de herramientas bajo el agua. Existen dos índices que se pueden utilizar para estimar este indicador, sin embargo, se recomienda utilizar el Índice de Rugosidad pues su cálculo es más sencillo. Se debe tomar en cuenta que únicamente se deben comparar valores del mismo índice, ya sea el de Rugosidad o el de Complejidad Arrecifal. Nunca deben compararse valores provenientes de índices distintos entre sí.

● Análisis e interpretación de los datos

La toma de datos de este indicador es bastante sencilla, pues únicamente se anotan tres valores. Al igual que los demás indicadores estos datos deben digitarse en el documento de Excel. Primeramente, se debe completar la información del Sitio y luego los tres valores de cada sitio (Fig. 14).

SITIO		HORA		LAT (N)
FECHA		PROF		LONG (W)
BUZO		VISIBILIDAD		
VALORES OBTENIDOS				
T1	T2	T3		
0	0	0		
RUGOSIDAD				
T1	T2	T3		
0	0	0		
INDICE DE RUGOSIDAD				
T1	T2	T3		
1	1	1		
VALORES CERCANOS A 0 SON ARRECIFES MENOS RUGOSOS VALORES CERCANOS A 1 SON ARRECIFES MAS RUGOSOS				

FIGURA 14. Hoja de datos digital para el indicador de complejidad arrecifal.

Una vez obtenido los resultados, el promedio deberá ser ingresados en la última pestaña llamada Variación Anual, donde automáticamente aparece la escala de colores del ámbito de variación permisible que cambiará de color según los resultados obtenidos en el monitoreo actual con respecto al anterior (Fig. 15). Cabe tomar en cuenta que el ámbito de variación permisible sólo refleja la dinámica del sustrato en el arrecife con el paso del tiempo y no así su estado de salud. Este último debe identificarse tomando en cuenta los valores de Escala de Salud presentes en el cuadro de cada indicador.

ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE							
RUGOSIDAD	DIC_2015	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO	MES_AÑO
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PÉRDIDA o GANANCIA	LB	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	LB	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE							
ÍNDICE DE RUGOSIDAD							
	Más de 41% de pérdida de rugosidad						
	Entre 11 y 40% de pérdida de rugosidad						
	Entre 0 y 10% de pérdida de la rugosidad						

FIGURA 15. Resultados temporales de la escala del ámbito de variación permisible para un sitio determinado.

La complejidad arrecifal es un indicador de la salud de los arrecifes, debido a que está estrechamente relacionado con la diversidad de especies de peces y macroinvertebrados. A pesar de que la cobertura coralina no siempre ha estado relacionada con este indicador, las colonias de coral aportan complejidad al sustrato. Son muchos los factores que pueden modificar la complejidad de un sitio, por lo que mantener un monitoreo adecuado de este indicador es importante para procurar la conservación y protección de muchas especies. En caso de registrar una disminución en la complejidad arrecifal se debe determinar las causas y proponer medidas para mitigar dicha pérdida.

Guías para la identificación de especies

PACÍFICO:

Humann, P & N. Deloach. 2004. Reef Fish Identification: Baja to Panama. New World Publications, Inc., USA.

Romero Torres, M. & A. Acosta. 2010. Corales duros del Pacífico Colombiano. Unión Gráfica Ltda., Bogotá D.C. Colombia.

Además se recomiendan las guía de identificación elaboradas por la FAO, las cuales están disponibles en línea (www.fao.org).

CARIBE:

Humann, P & N. Deloach. 2002. Reef Fish Identification: Florida, Caribbean, Bahamas. New World Publications, Inc., USA.

Humann, P & N. Deloach. 2002. Reef Coral Identification. New World Publications, Inc., USA.

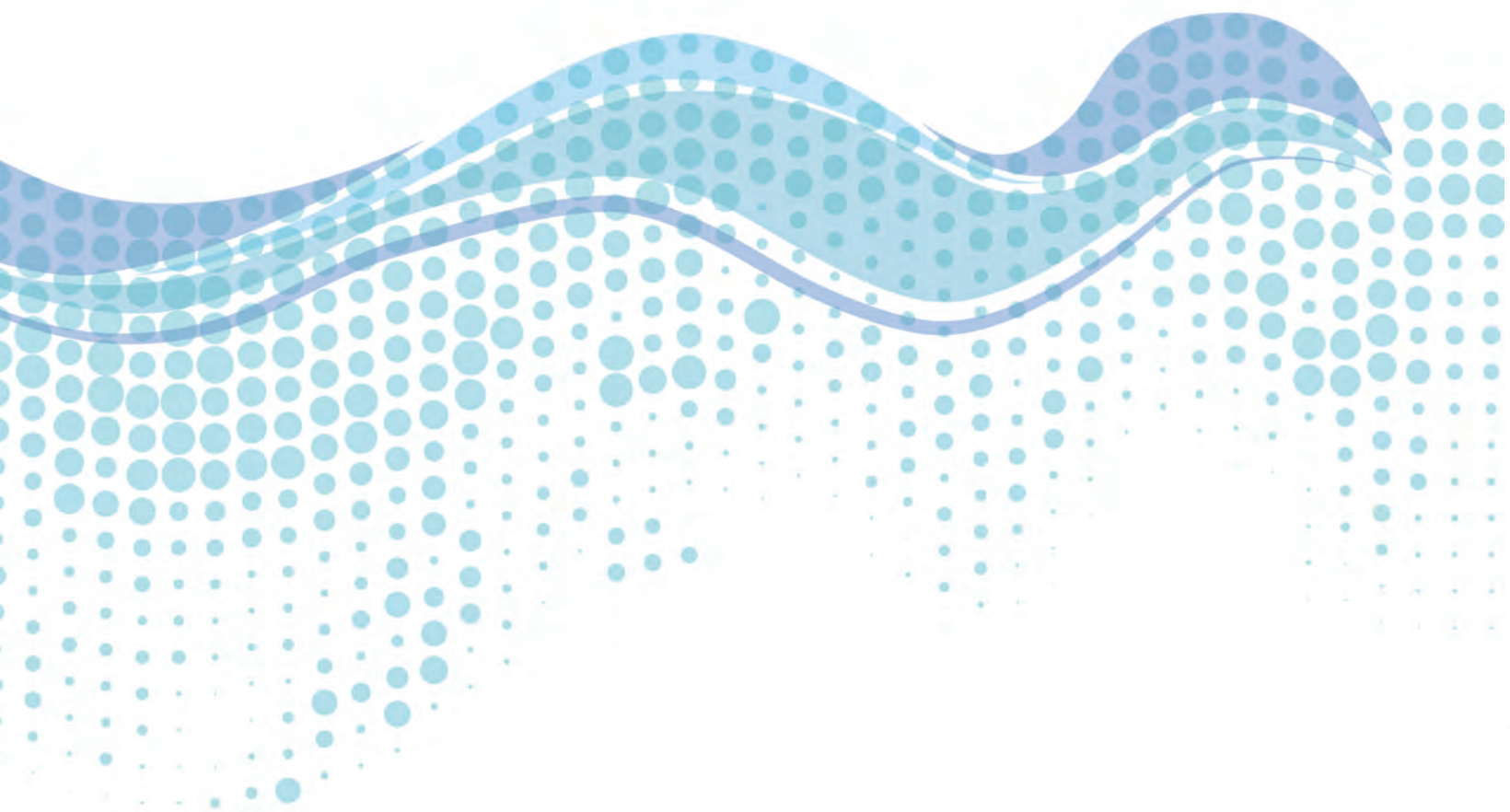
Humann, P & N. Deloach. 2002. Reef Creature. New World Publications, Inc., USA.

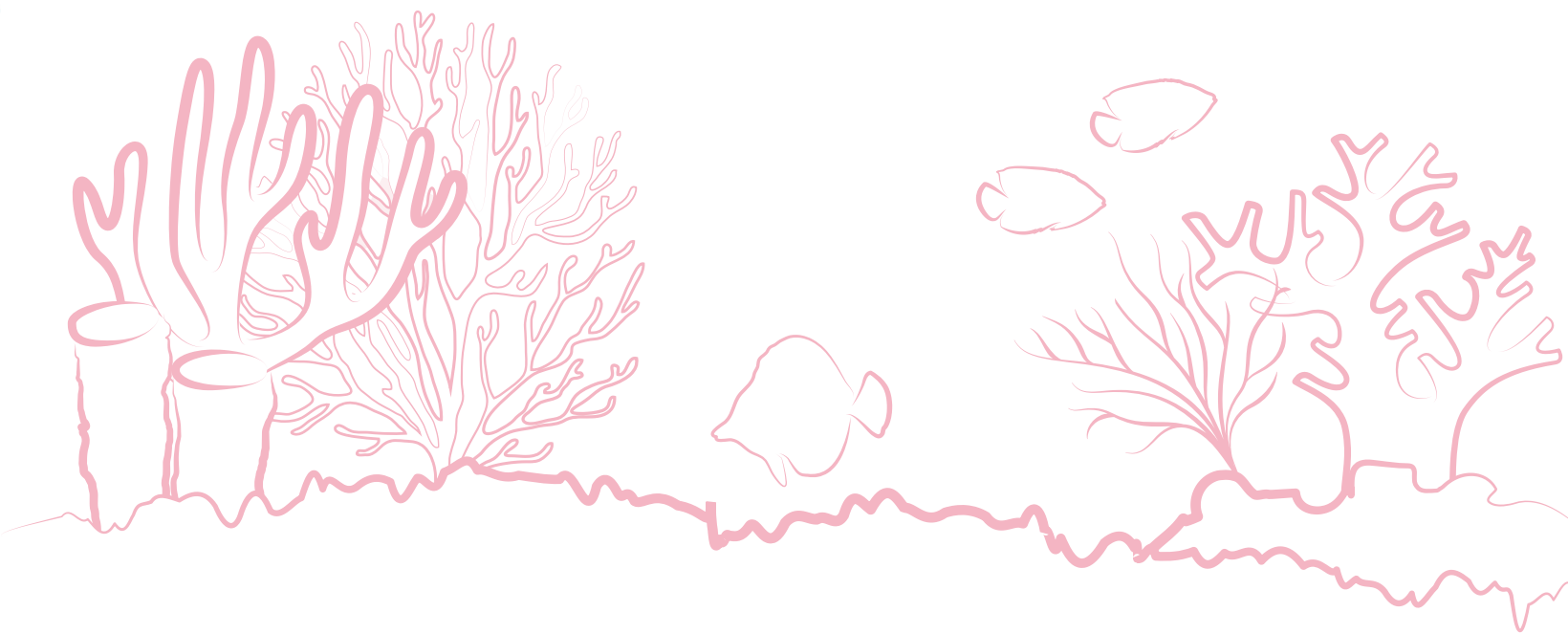
Referencias

- Alvarado, J.J., B. Herrera, L. Corrales, J. Asch & P. Paaby. 2011. Identificación de las prioridades de conservación de la biodiversidad marina y costera en Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 59: 829-842.
- Alvarado, J.J., J. Cortés, C. Fernández & J. Nivia. 2005. Coral communities and coral reefs of Ballena Marine National Park, Pacific coast of Costa Rica. *Ciencias Marinas* 31: 641-651.
- Aronson, R.B. & W.F. Precht. 1995. Landscape patterns of reef coral diversity: A test of the intermediate disturbance hypothesis. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 192: 1-14.
- Bellwood, D.R., T.P. Hughes, C. Folke & M. Nystrom. 2004. Confronting the coral reefs crisis. *Nature* 24: 827-833.
- Birkeland, C. & Lucas, J.S. (1990) *Acanthaster planci*: major management problem of coral reefs. CRC Press, Boca Raton.
- Birkeland, C. 1989. The influence of echinoderms on coral-reef communities. In M. Jangoux & J. M. Lawrence (Eds.), *Echinoderm Studies* 3 (pp. 1-79). Rotterdam: A. A. Balkema.
- Carpenter, R.C. (1997). Invertebrate predators and grazers. In C. Birkeland (Ed.), *Life and Death of Coral Reefs* (pp. 198-229). New York: Chapman & Hall.
- Cesar, H. & C.K. Chong. 2004. Economic valuation and socioeconomics of coral reefs: Methodological issues and three case studies. In *Economic valuation and policy priorities for sustainable management of coral reefs*. Ahmed, M., C.K. Chong & H. Cesar (eds.). Worldfish center, Conference proceeding, Penang, Malaysia.
- Cortés, J. & M.J. Risk. 1985. A reef under siltation stress: Cahuita, Costa Rica. *Bull. Mar. Sci.* 36: 339-356.
- Cortés, J. & M.M. Murillo. 1985. Comunidades coralinas y arrecifes del Pacífico de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 33: 197-202.
- Cortés, J. 1996-97. Comunidades coralinas y arrecifes del Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44/45: 623-625.
- Cure, K., J.L. McIlwain & M.A. Hixon. 2014. Habitat plasticity in native Pacific red lionfish *Pterois volitans* facilitates successful invasion of the Atlantic. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 506: 243-253.
- Fernández, C. & J. Cortés. 2009. Propagación del alga verde *Caulerpa sertularioides* en el Pacífico de Costa Rica. *Biocenosis* 22(1-2): 79-88.
- Fernández, C. & J.J. Alvarado. 2004. El arrecife coralino de Punta Cocles, costa Caribe de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 52: 121-129.
- Fernández, C. 2007. Propagación del alga *Caulerpa sertularioides* en Bahía Culebra Golfo de Papagayo. Tesis de Maestría, Universidad de Costa Rica. San Pedro, Costa Rica.
- Fonseca, A.C. 1999. A rapid assessment at Cahuita National Park, Costa Rica, 1999 (Part 1: stony corals and algae), p. 248-257. In J.C. Lang (ed.). *Status of Coral Reefs in the Western Atlantic: Results of Initial Surveys, Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA) Program*. Atoll Res. Bull. 496.
- Fonseca, A.C., E. Salas & J. Cortés. 2006. Monitoreo del arrecife coralino Meager Shoal, Parque Nacional Cahuita, Costa Rica (sitio CARICOMP). *Rev. Biol. Trop.* 54: 755-763.
- Freshwater, D.W., A. Hines, S. Parham, A. Wilbur *et al.* 2009. Mitochondrial control region sequence analyses indicate dispersal from the US East Coast as the source of the invasive Indo-Pacific lionfish *Pterois volitans* in the Bahamas. *Mar. Biol.* 156: 1213-1221.

- Glynn, P.W. 1997. Bioerosion and coral-reef growth: a dynamic balance. In C. Birkeland (Ed.). Life and Death of Coral Reefs (pp. 68-95). New York: Chapman & Hall.
- Glynn, P.W., E.M. Druffel & R.B. Dunbar. 1983. A dead Central American coral reef tract: possible link with the Little Ice Age. *J. Mar. Res.* 41: 605-637.
- Guzmán, H.M. & J. Cortés. 2001. Changes in reef community structure alter fifteen years of natural disturbances in the Eastern Pacific (Costa Rica). *Bull. Mar. Sci.* 69: 133-149.
- Hawkins, J.P. & C.M. Roberts. 2003. Effects of artisanal fishing on Caribbean coral reefs. *Conservation Biology* 18: 215-226.
- Hughes, T.P., N.A.J. Graham, J.B.C. Jackson, P.J. Mumby & R.S. Steneck. 2010. Rising to the challenge of sustaining coral reef resilience. *Trends Ecol. Evol.* 25: 633-642.
- Jackson, J.B.C., M.K. Donovan, K.L. Cramer & V.V. Lam. 2014. Status and Trends of Caribbean Coral Reefs: 1970-2012. Global Coral Reef Monitoring Network, IUCN, Gland, Switzerland.
- Littler, M.M., D.S. Littler & B.L. Brooks. 2009. Herbivory, nutrients, stochastic events, and relative dominances of benthic indicator groups on coral reefs: a review and recommendations. *Proceedings of the Marine Science Network Symposium*, Washington, DC. Smithsonian Contributions to the Marine Sciences No. 38: 401-414.
- Lourey, M.J., D.A.J. Ryan & I.R. Miller. 2000. Rates of decline and recovery of coral cover on reefs impacted by, recovering from and unaffected by crown-of-thorns starfish *Acanthaster planci*: a regional perspective of the Great Barrier Reef. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 196:179-186.
- McClanahan, T.R. & R. Arthur. 2001. The Effect of Marine Reserves and Habitat on Populations of East African Coral Reef Fishes. *Ecol. Appl.* Vol. 11: 559-569.
- Meister, H.S., D.M. Wyanski, J.K. Loefer, S.W. Ross, A.M. Quattrini & K.J. Sulak. 2005. Further evidence for the invasion and establishment of *Pterois volitans* (Teleostei: Scorpaenidae) along the Atlantic coast of the United States. *Southeast Nat* 4: 193-206
- Mumby, P.J. 2009. Phase shifts and the stability of macroalgal communities on Caribbean coral reefs. *Coral Reefs* 28: 761-773.
- Nielsen, V. & M. Quesada. 2006. Ambientes Marino Costeros de Costa Rica. Informe Técnico. Comisión interdisciplinaria marino costera de la zona económica exclusiva de Costa Rica.
- Parrish, J.D., D.P. Braun & R.S. Unnash. 2003. Are we conserving what we say we are? Measuring Ecological Integrity within Protected Areas. *BioScience* 53(9): 851-860.
- Quesada-Alpizar, M.A. & J. Cortés. 2006. Los ecosistemas marinos del Pacífico sur de Costa Rica: estado del conocimiento y perspectivas de manejo. *Rev. Biol. Trop.* 54 (Supl. 1): 101-145.
- Rogers, C.S., G. Garrison, R. Grober, Z.M. Hillis & M.A. Franke. 2001. Coral reef monitoring manual for the Caribbean and Western Atlantic. St. John, U.S. Virgin Islands.
- Sammarco, P.W. (1980). *Diadema* and its relationship to coral spat mortality: grazing, competition and biological disturbance. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 45, 245-472.
- Sammarco, P.W. (1982a). Echinoid grazing as a structure force in coral communities: whole reef manipulations. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 61, 31-55.
- Sammarco, P.W. (1982b). Effects of grazing by *Diadema antillarum* Phillipi (Echinodermata: Echinoidea) on algal diversity and community structure. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 65, 83-105.
- Sammarco, P.W., J.S. Levington & J.C. Ogden. 1974. Grazing and control of coral reef community structure by *Diadema antillarum* Phillipi (Echinodermata: Echinoidea): A preliminary study. *Journal of Marine Research*, 32, 47-53.
- Sandel, V., D. Martinez-Fernandez, D. Wangpraseurt & L. Sierra. 2015. Ecology and management of the invasive lionfish *Pterois volitans/miles* complex (Perciformes: Scorpaenidae) in Southern Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 63: 213-221.
- Schofield, P.J. (2009). Geographic extent and chronology of the invasion of non-native lionfish (*Pterois volitans* [Linnaeus 1758] and *P. miles* [Bennett 1828]) in the Western North Atlantic and Caribbean Sea. *Aquatic Invasions*, 4, 473-479.
- Semmens, B.X., E.R. Buhle, A.K. Salomon & C.V. Pattengill-Semmens. 2004. A hotspot of non-native marine fishes: evidence for the aquarium trade as an invasion pathway. *Mar Ecol Prog Ser* 266: 239-244

- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación). 2009. GRUAS II: Propuesta de ordenamiento territorial para la conservación de la biodiversidad en Costa Rica. Vol. III. Análisis de vacíos en la representatividad e integridad de la biodiversidad de los sistemas marinos y costeros. San José, Costa Rica.
- Steneck, R.S. 1988. Herbivory on coral reefs: a synthesis. Proceedings of the sixth International Coral Reef Symposium, Townsville, Australia, 1:37-49.
- Van Oppen, M.J.H. & R.D. Gates. 2006. Conservation genetics and the resilience of reef-building corals. Mol. Ecol. 15: 3863-3883.





METODOLOGIA INSTITUCIONAL COBERTURA SUSTRATO: PUNTO INTERCEPTO CADA 10 CENTIMETROS

Sitio: _____

Buzo: _____

Profundidad: _____

Fecha: _____

Hora: _____

Visibilidad: _____

m	T1	m	T1	m	T1	m	T1	m	T1	m	T2	m	T2	m	T2	m	T2	m	T3	m	T3	m	T3	m	T3
0.1		2.6		5.1		7.6		15.1		17.6		20.1		22.6		30.1		32.6		35.1		37.6			
0.2		2.7		5.2		7.7		15.2		17.7		20.2		22.7		30.2		32.7		35.2		37.7			
0.3		2.8		5.3		7.8		15.3		17.8		20.3		22.8		30.3		32.8		35.3		37.8			
0.4		2.9		5.4		7.9		15.4		17.9		20.4		22.9		30.4		32.9		35.4		37.9			
0.5		3		5.5		8		15.5		18		20.5		23		30.5		33		35.5		38			
0.6		3.1		5.6		8.1		15.6		18.1		20.6		23.1		30.6		33.1		35.6		38.1			
0.7		3.2		5.7		8.2		15.7		18.2		20.7		23.2		30.7		33.2		35.7		38.2			
0.8		3.3		5.8		8.3		15.8		18.3		20.8		23.3		30.8		33.3		35.8		38.3			
0.9		3.4		5.9		8.4		15.9		18.4		20.9		23.4		30.9		33.4		35.9		38.4			
1		3.5		6		8.5		16		18.5		21		23.5		31		33.5		36		38.5			
1.1		3.6		6.1		8.6		16.1		18.6		21.1		23.6		31.1		33.6		36.1		38.6			
1.2		3.7		6.2		8.7		16.2		18.7		21.2		23.7		31.2		33.7		36.2		38.7			
1.3		3.8		6.3		8.8		16.3		18.8		21.3		23.8		31.3		33.8		36.3		38.8			
1.4		3.9		6.4		8.9		16.4		18.9		21.4		23.9		31.4		33.9		36.4		38.9			
1.5		4		6.5		9		16.5		19		21.5		24		31.5		34		36.5		39			
1.6		4.1		6.6		9.1		16.6		19.1		21.6		24.1		31.6		34.1		36.6		39.1			
1.7		4.2		6.7		9.2		16.7		19.2		21.7		24.2		31.7		34.2		36.7		39.2			
1.8		4.3		6.8		9.3		16.8		19.3		21.8		24.3		31.8		34.3		36.8		39.3			
1.9		4.4		6.9		9.4		16.9		19.4		21.9		24.4		31.9		34.4		36.9		39.4			
2		4.5		7		9.5		17		19.5		22		24.5		32		34.5		37		39.5			
2.1		4.6		7.1		9.6		17.1		19.6		22.1		24.6		32.1		34.6		37.1		39.6			
2.2		4.7		7.2		9.7		17.2		19.7		22.2		24.7		32.2		34.7		37.2		39.7			
2.3		4.8		7.3		9.8		17.3		19.8		22.3		24.8		32.3		34.8		37.3		39.8			
2.4		4.9		7.4		9.9		17.4		19.9		22.4		24.9		32.4		34.9		37.4		39.9			
2.5		5		7.5		10		17.5		20		22.5		25		32.5		35		37.5		40			

RUGOSIDAD

T1 _____ T2 _____
T3 _____

[illegible][illegible]

METODOLOGIA PARTICIPATIVA PECES: LISTA DE ESPECIES – ABUNDANCIA

Sitio: _____

Fecha: _____

Buzo: _____

Hora: _____

Profundidad: _____

Visibilidad: _____

RUGOSIDAD

T1 _____ T2 _____

T3 _____

FAMILIA O ESPECIE	T1	T2	T3
Mariposas (Chaetodontidae)			
Roncadores (Haemulidae)			
Pargos (Lutjanidae)			
Peces Loro (Scaridae)			
Morenas (Muraenidae)			
Meros y Cabrillas (Serranidae)			
Vieja de Piedra (<i>Bodianus diplotaenia</i>)			
Angel Rey (Holacanthus passer)			
Pez Halcón (Cirrhithus rivulatus)			
Otros:			

BUZO ERRANTE

Especies raras:

Protocolo para el Monitoreo Ecológico de las Formaciones Coralinas

Este es un producto del proyecto Consolidación de las Áreas Marinas
Protegidas del SINAC, contratado por el PNUD con fondos del GEF

