

ANALYSIS OF RESILIENCE TO CLIMATE CHANGE FOR MARINE PROTECTED AREAS OF THE MESOAMERICAN REEF



Authors

Dr. Jade Delevaux, Nadia Bood, Luis Chévez and Alejandra Calzada

Technical Reviewers

Dr Gabby Ahmadiá, Dr Melanie McField, Janet Gibson and Emma Doyle
2021

Suggested cite

Analysis of Resilience to Climate Change for Marine Protected Areas of the Mesoamerican Reef. World Wildlife Fund (WWF Mesoamerica) 2021

Cover photography

Antonio Busiello / WWF Mesoamerica

© 1986 Panda symbol WWF - World Wildlife Fund

® "WWF" is a WWF Registered Trademark. WWF International, Rue Mauverney 28, 1196 Gland, Awitzerland. Tel. + 41 22 346 9111. Fax. +41 22 364 0332.

BACKGROUND

The project ‘Increased Resilience to Climate Change through Socio-ecological Resilience Analysis of prioritized Marine Protected Areas (MPAs) of the Mesoamerican Reef’ was executed by the World Wildlife Fund (WWF) with support from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Mesoamerican Reef Fund (MARFUND), Pew Charitable Trust and the German’ International Climate Initiative (IKI). It was aimed at developing a transdisciplinary “snapshot” coral reef resilience and adaptation capacity assessment of targeted marine protected areas (MPA) in Mexico, Belize and Honduras, and identify strategies to increase resilience.

Resilience is the innate ability of a system to recover or bounce back following perturbations; be it from human or natural factors. It can be defined from both a socioeconomic and ecological perspective. Given the costs and efforts place into managing MPAs, it is important to understand whether the areas can withstand or recover from natural disturbances and improve ecosystem functioning.

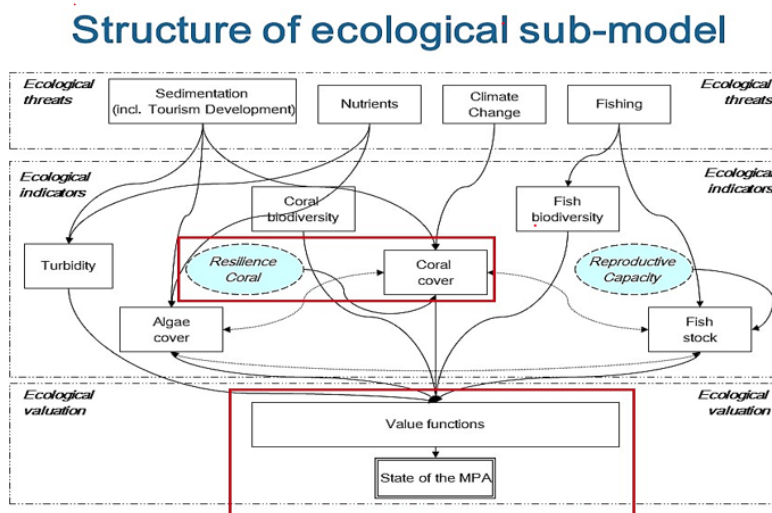


Fig 1 a and b: From an ecological perspective, this schematic depicts some of the key indicators that must be taken into consideration when analyzing resilience as is also informed by the UN Environment Guide to Assessing Coral Reef Resilience.

The project had 2 main objectives:

- Create an analytical framework to calculate an Integrated Reef Resilience Index (IRRI) using 9 indicators
- The IRRI allows managers to evaluate the level of resilience of MPAs over time

APPROACH

The project was aimed at analyzing anthropogenic and natural threats to targeted Marine Protected Areas as well as assess their resilience. The approach entailed the use of an analytical framework to calculate an Integrated Reef Resilience Index (IRRI) using 9 indicators of coral and reef-associated species, and two stressors (Fig 3). This Index offers a simplified process for evaluation of the level of resilience of MPAs over time.

The project targeted a total of 25 marine protected areas (MPAs) within the Mesoamerican Reef region. Data analyzed encompassed the period spanning 2006-2018; sourced from the Healthy Reefs Initiative (i.e., 6 years of data based on biannual monitoring). Overall, data from 517 surveys across the region were analyzed together.

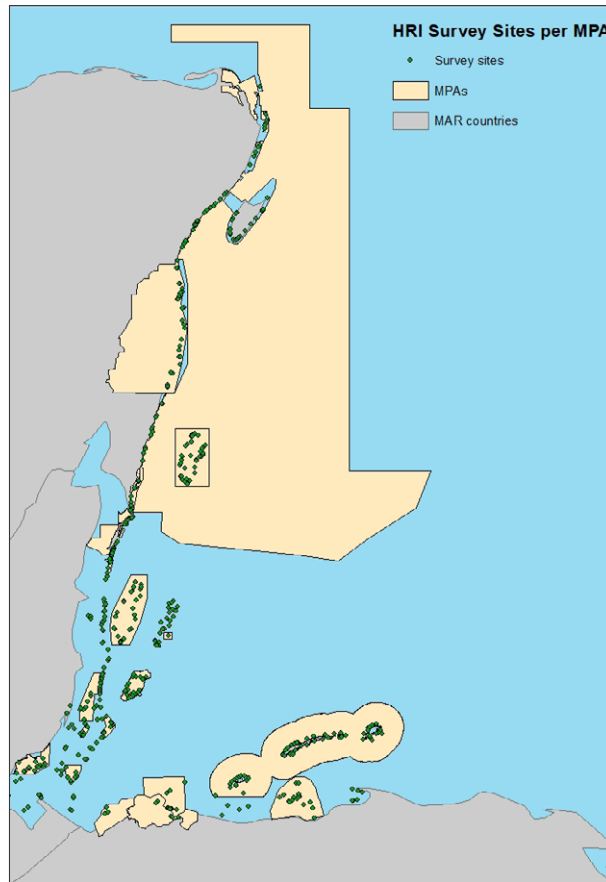


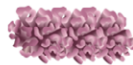
Fig 2: Coral reef sites assessed within the MAR.

Fig 3: The 9 indicators assessed in the analysis: The ecological indicators are - coral cover (LCC), fleshy macroalgae (FMAI), coral species richness (CSR), coral disease prevalence (CDP), coral recruitment (CR), herbivorous fish biomass (HFB), and sea urchin density (UD). The 2 environmental stressors are temperature (DHW) and sediment (SD).

Data & Models overview

Benthic indicators

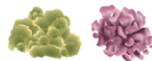
Live coral cover



Fleshy macroalgal index



Coral species richness



Coral disease prevalence



Coral recruitment



Herbivore indicators

Herbivorous fish biomass



Urchin density



Environmental stressors

Sediment



Temperature



ECOLOGICAL INDICATORS

The indicator data values for each site were ranked according to specific ranking descriptions of very good, good, fair, poor, and critical. Ranking description for each biological indicator

1. Coral indicators	
LIVE CORAL COVER Avg percentage live coral cover per site Very Good - > 30 Good = 15.0 - 29.9 Fair = 10.0 - 14.9 Poor = 5.1 - 9.9 Critical = < 5%	CORAL DISEASE PREVALENCE % Total diseases corals (diameters < 4 cm ignored) Very Good = <1%. Good = 1.1% to 1.9%. Fair - 2.0% to 3.9%. Poor = 4.0% to 6.0%. Critical = >6%
CORAL SPECIES RICHNESS Very Good = >14 Good = 11 - 13 Fair = 9 - 10 Poor = 7 - 8 Critical = < 6	CORAL RECRUITMENT DENSITY OF ALL RECRUITS (M²) Very Good = 10#/m ² and above Good = 5.0 #/ m ² to 9.9 #/m ² Fair = 3.0 #/ m ² to 4.9 #/m ² Poor = 2 #/ m ² to 2.9 #/m ² to Critical = <2 #/m ²

2. Algae indicator
FLESHY MACROALGAL INDEX: FLESHY MACROALGAL COVER (%) X AVG ALGAL HEIGHT (CM) Very Good = < 10 Good = 10 - 19 Fair = 20 - 39 Poor = 40 - 59 Critical = > 60

3. Herbivore indicators	
HERBIVOROUS FISH BIOMASS Parrotfish & Surgeonfish (G/100m ²) Very Good = > 6,000 Good = 3,500 - 5,999 Fair = 2,500 - 3,499 Poor = 1,500 - 2,499 Critical = 0 - 1,499	URCHIN DENSITY # <i>Diadema antillarum</i> (#/m ²). Very Good = >2.5 and <-7 Good = 1.1 - 2.5 Fair = 0.5 - 1.0 Poor = 0.25 - 0.49 Critical = < 0.25

Fig 4a, b & c: The ranking for the ecological indicators: - coral cover, species richness, disease, coral recruitment, macroalgae, herbivorous fish and sea urchins.

STRESSORS

In addition to the 7 ecological indicators, the project assessed 2 reef stressors: temperature and sedimentation. Temperature, particularly sea surface temperature, is very important to assess given its potential impact on reefs when elevated, fueling mass bleaching events on reefs. Climate modeling, which was carried out in partnership with NASA and Columbia University’s Center for Climate System Research and Stanford’s Natural Capital Project, reveals an expected increase in temperature which could continue to impact reefs (Fig 5). Thus, this is an important indicator to monitor over time.

Mean Temperature Across the MAR

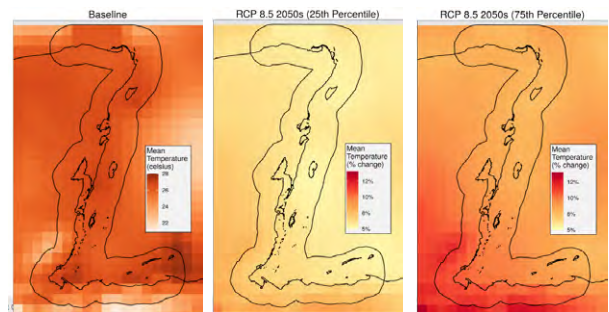


Fig 5: Results of climate modeling for the MAR

4. Temperature - Degree Heating Weeks (NOAA)

- 5 Very Good/Good = < 4 DHW = no bleaching
- 3 Poor = 4 - 8 DHW = bleaching risk
- 1 Critical = >8 DHW = bleaching mortality

5. Sedimentation – Kd490

Source: NASA Ocean Color (Kd490)

Source: NOAA Coral Reef Watch Program

The project used Degree Heating Weeks (DHW) to analyze sea surface temperature effects (Fig 6). The DHW temperature data were obtained from NOAA and spanned the period 2006 -2020. DHW data were used because there is good coverage and its consistent across all the MPAs. For the future, however, it would be good to integrate data from local temperature loggers.

Fig 6: Ranking for the temperature stressor indicator; using Degree Heating Weeks from NOAA Coral Reef Watch Program.

CALCULATION OF THE IRRI

We combined each indicator into a 5-point scale where 5 is the highest and 1 is the lowest. And then we combined all the indicators using equation 1, shown in Fig 7, which is basically doing an averaging. Finally, we normalized the scores between 0 & 1 for each MPA using equation #2.

Calculate the IRRI

Average the indicators values **PER MPA**

$$IRRI_{MPA} = (LCC + FMAI + CSR + CDP + CR + HFB + UD + SD + DHW) / N \quad (Eq. 1)$$

Normalize the index 0-1 **PER MPA**

$$IRRI_{inMPAI} = (IRRI \times 10 \times 2) / 100 \quad (Eq. 2)$$

Ranking description	Normal ranking score (1-5)	Normalized ranking score (0-1). Potential normalization of 1-5 score range - e.g. (x*10^2)/100	Potential score Range with highest range point shown in column 3
Very good	5	1	0.85 – 1.00
Good	4	0.8	0.65 – 0.80
Fair	3	0.6	0.45 – 0.60
Poor	2	0.4	0.25 - 0.40
Critical	1	0.2	Less than/equal to 0.20

Fig 7: Formulas and approach utilized to calculate the IRRI

RESULTS

Out of the twenty-five (25) MPAs assessed in the study, most received a ‘fair’ resilience score as shown in yellow on the map. One MPA in Mexico received a ‘poor’ score as shown in orange on the map. 1 MPA in Mex, 3 in Belize and 3 in Honduras received a ‘good’ score as shown in green in the map. Note that Half Moon Caye in Belize (Fig 8 and Table

1) received a score of ‘very good’ as shown in blue, but we only had two indicators out of the total 9 targeted for the assessment. Thus, this does not represent the full picture for resilience for this MPA.

1.MPA IRRI

Most MPAs across the three countries received a “Fair” score

Sian Ka’am in Mexico received a “Poor” score

The Refugio Marino de Vida Silvestre Bahía de Tela, Parque Nacional Marino Islas de la Bahía and Monumento Natural Marino Archipelago Cayos Cochinos in Honduras; Costa Occ. de I. Mujeres, Pta. Cancún y Punta Nizuc in Mexico; and Hol Chan Marine Reserve, Laughing Bird Caye National Park and South Point Lighthouse SPAG in Belize received “Good” scores

Half Moon Caye Natural Monument received a “Very good” resilience score but only had two indicators.

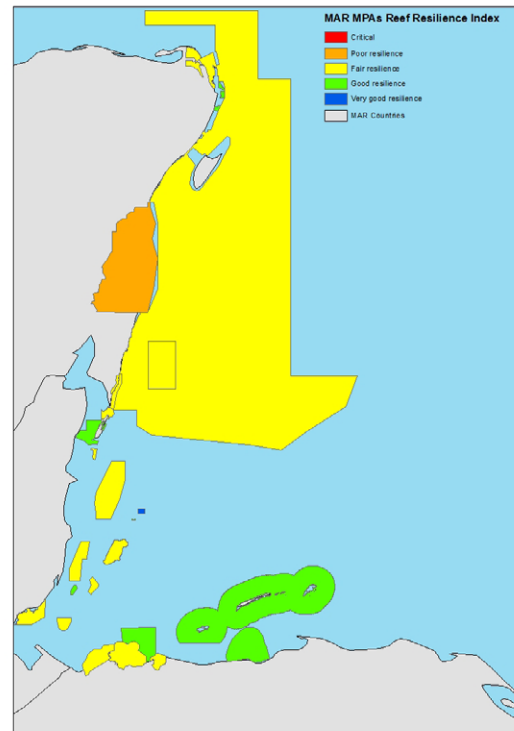







Fig 8: IRRI map and description

Table 1: The MPAs targeted and their respective resilience score

Country	MPA	LCC	CSR	CDP	CR	HFB	FMAI	UD	SD	DHW	IRRI	IRRI _{MPA}	
Belize	Caye Caulker Marine Reserve	2.7	4.0	3.0	1.0	2.3	2.5	2.5		5	2.88	0.58	
	Gladden Spit Marine Reserve SPAG	4.0	5.0	4.0	1.0	1.0	1.0	1.0		5	2.75	0.55	
	Seal Caye SPAG	3.0	3.0		1.0	4.0	5.0	1.0		3	2.86	0.57	
	Halfmoon Caye Natural Monument					4.0				5	4.5	0.90	
	Bacalar Chico Marine Reserve	2.8	3.6	2.8	1.6	1.3	1.3	1.0		3	2.18	0.44	
	Turneffe Atoll Marine Reserve (Maugre)	2.7	4.1	4.4	1.9	2.2	3.5	1.4		3	2.90	0.58	
	Sapodilla Cayes Marine Reserve	2.2	4.0	3.0	3.0	1.8	3.4	1.4		3	2.73	0.55	
	South Point Lighthouse SPAG	4.0	4.5	5.0	2.0	1.0	4.0	1.0		5	3.31	0.66	
	Gladden Spit and Silk Cayes Marine Reserve	2.7	4.3		2.0	3.3	2.3	1.0		3	2.66	0.53	
	South Water Caye Marine Reserve	2.7	3.1	4.3	2.1	2.2	2.4	1.0		3	2.60	0.52	
	Hol Chan Marine Reserve	5.0	3.0				3.2	4.0	1.0		3	3.2	0.64
	Glovers Reef Marine Reserve	3.0	4.1	4.9	1.5	1.8	2.5	1.3		3	2.76	0.55	
	Port Honduras Marine Reserve	1.8	2.2		1.1	2.6	4.1	1.6		3	2.34	0.47	
	Laughing Bird Caye National Park	2.8	4.6	5.0	3.8	3.0	1.5	1.2		3	3.11	0.62	

Country	MPA	LCC	CSR	CDP	CR	HFB	FMAI	UD	SD	DHW	IRRI	IRRI _n ^{MPA}
Honduras	Refugio Marino de Vida Silvestre Bahía de Tela	4.8	3.8	5.0	3.3	1.4		3.6		3	3.56	0.71
	Parque Nacional Blanca Jeannette Kawas	3.5	4.8	4.7	2.5	1.0	3.3	1.0		3	2.98	0.60
	Parque Nacional Marino Islas de la Bahía	4.0	4.6	4.4	2.3	3.6	2.0	1.0		3	3.11	0.62
	Parque Nacional Punta Izopo	3.0	2.5	4.7	2.0	1.0		1.5		3	2.52	0.50
	Monumento Natural Marino Archipelago Cayos Cochinos	3.4	3.6	4.4	2.0	1.0	1.9	1.2		5	3.06	0.61
	Zona costera entre Cuyamel y Janette Kawas	3.0	2.0		2.7	3.3	1.5	2.0		3	2.50	0.50
Mexico	Arrecifes de Xcalak	3.0	3.8	4.3	1.5	2.0	2.5	1.6		5	2.97	0.59
	Sian Ka'an	2.0	2.8	2.5	1.8	1.3	3.3	1.2		1	2.00	0.40
	Banco Chinchorro	2.4	2.3	4.7	1.6	1.7	2.4	1.2		5	2.6	0.53
	Caribe Mexicano	2.5	3.4	2.5	2.2	2.5	3.4	1.4		1	2.36	0.47
	Costa Occ. de I. Mujeres, Pta. Cancún y Punta Nizuc y Punta Nizuc (Parque Cancún)	2.8	3.0	5.0	1.3	3.3	1.0			5	3.04	0.61

KEY FOR TABLE 2: RELATIVE RESILIENCE POTENTIAL

Very Good  Good  Fair  Poor  Critical 

Looking at the table you can see the 5-point scale value assigned to the resilience ecological indicators and the final IRRI score, which is color coded according to the key at the bottom.

Noteworthy is that there are data gaps regarding sedimentation across all the MPAs. The project could not locate localized sedimentation data on a temporal and spatial basis within the MPAs to integrate in the analysis. Attempt was made at modeling sedimentation effects on reefs, but

it was difficult to integrate within the IRRI analysis (this is further discussed under ‘Key Take Away’ from the analysis). A few MPAs also have some data gap for ecological indicators such as coral disease, coral recruitment, sea urchin and fleshy macroalgae (e.g., Hol Chan, Gladden Split and Port Honduras in Belize; Costa Occ. de I. Mujeres, Pta. Cancún y Punta Nizuc y Punta Nizuc in Mexico; and Refugio Marino de Vida Silvestre Bahía de Tela, Parque Nacional Punta Izopo and Zona costera entre Cuyamel y Janette Kawas in Honduras). There is good coverage for the other indicators.

KEY TAKE AWAY

Based on this analysis, there is now baseline figures available to use as reference for future resilience assessments. An integrated reef resilience map and table are available that provide information on MPA resilience within the MAR. The project also identified that MPAs require more sampling, in particular, for sedimentation, which is missing from the analysis. As a next step, data gaps for missing indicators need to be filled. Water quality data needs to be collected for all the MPAs.

Even though the project was not able to obtain localized water quality information, potential sedimentation to the marine environment was modeled.

These maps in Figure 9 show the watersheds that drain into the Mesoamerican Reef region. It's important to remember that these inland areas can affect the water quality in MPAs. Sediment export is the amount of sediment that makes it to a stream. It is most strongly influenced by topography,

as you can see from the elevation map – the mountains of Guatemala and Honduras show the highest export. Land use also plays a big role – agricultural areas, barren land, dirt roads, and other such uses generally produce more erosion, and are not as good at retaining soil as dense grasslands or forests. Looking at Guatemala and Honduras, not only are these areas mountainous, but they also have a lot of agriculture and pasture.

Although it is difficult to say where the soil goes, we could use this type of information to look at places that are losing the most soil. The information can be used to target improved agricultural practices, etc which could also benefit farmers who don't want to lose their soil. Sediment export is not relevant for the Yucatan, Mexico. This area is flat and karstic, with no streams, and very complex groundwater hydrology. These types of areas require specialized, and usually localized, models, so the export results are irrelevant there.

Sediment export and retention - SDR Model inputs

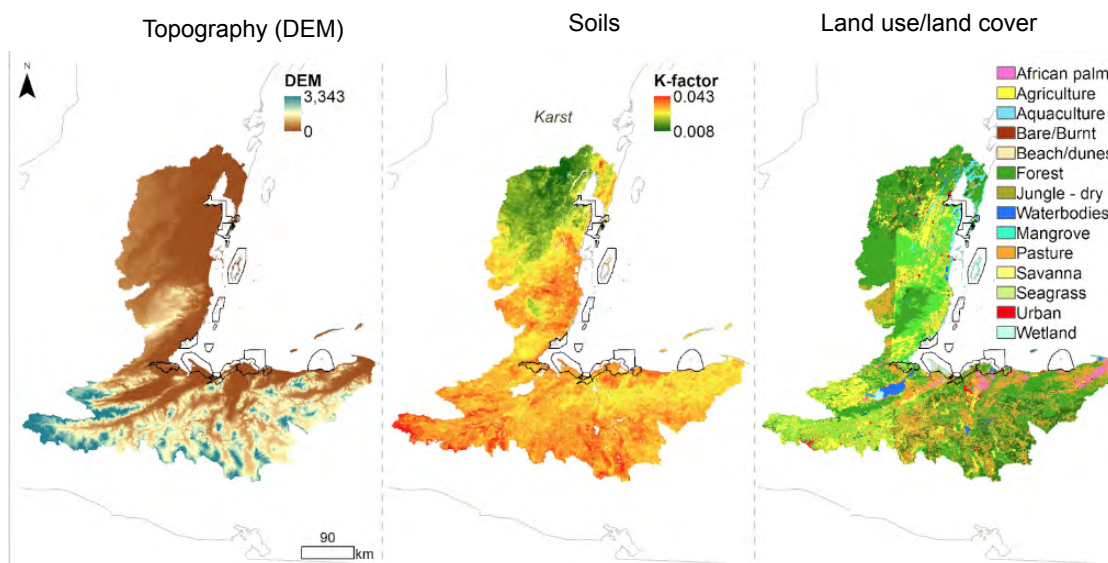


Fig 9: Sediment export and retention in the MAR region

This below table (Table 2) shows the sediment export (%), the relative export of each country in the region to the marine environment. Belize contributes the lowest amount of sediment (6%) compared to most of the sediment exported to the marine environment by Guatemala (47%) and Honduras (46%). This may be due to the local geography, where

Guatemala and Honduras have the highest mountain peaks, with more high lands and steeper slopes compared to Belize. In terms of land use classification, Belize has more natural intact landscape than Guatemala and Honduras.

Table 2:
Sediment export by Country

Baseline results: How does sediment export vary by country & across the MAR?

	Belize	Guatemala	Honduras
Sediment export (%)	6	47	46
Sediment export (t/yr)	39,163,043	299,578,020	293,599,495
Elevation (meters)			
max:	1,242	3,345	2,852
mean:	185	881	732
Slope (degree)	5	15	15
LUC (% total area)			
Nature:	79	57	59
Human:	21	43	41

The project initially tried to leverage remote sensing turbidity data using Kd490 from Ocean Color as shown on the two maps in Figure 10; where blue indicates low turbidity and red indicates high turbidity. Although, this type of information can be very useful as it provides data monthly at the global scale, these datasets are at a coarse scale (4km x 4km) and research that can help establish ranges of Kd490 values that

would suggest stress on coral reefs is lacking. This algorithm returns the diffuse attenuation coefficient for downwelling irradiance at wavelength 490 nm (Kd_490) in 1m dept; calculated using an empirical relationship derived from in situ measurements of Kd_490 and blue-to-green band ratios of remote sensing reflectances (Rrs)

Challenges - Sediment

- We assessed the potential of using Kd490 from Ocean color remote sensing data to assess the impact of sediment and turbidity on coral reefs
- But these datasets are coarser scale (4km x 4km) & research lacks to establish ranges of Kd490 values that would designate potential stress on coral reefs.

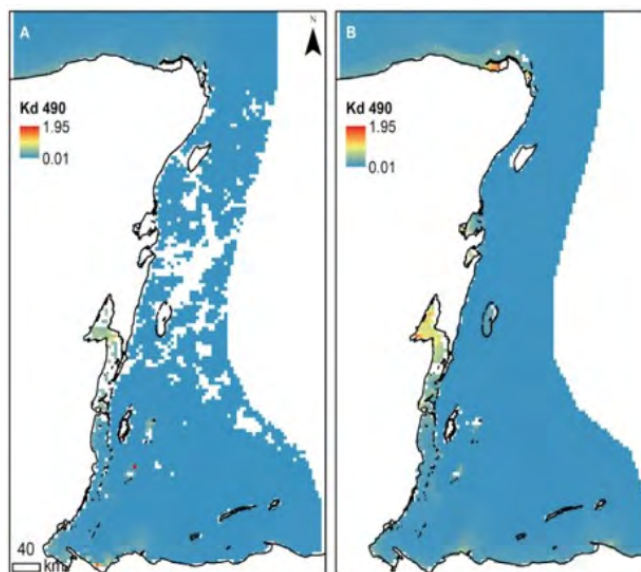


Fig 10: Analysis of Ocean Color data for the MAR

The project also looked at sedimentation and the potential influence on nearshore water quality. The total sediment export is over 600 million tons of sediment per year; with Guatemala and Honduras contributing the majority (Fig 11). The sediment export was diffused from the shoreline into the marine environment with Natural Capital Project's water quality model. Due to the spatial variation in sediment export on land, it was found that there is more total suspended

sediments (TSS) by one order of magnitude along Guatemala and Honduras coastlines compared to Belize. A follow-up analysis visually compared the modeling plume to Seawiffs imagery which can provide weekly information about Chla, colored dissolved organic matter, and suspended sediment. This information is used to determine how far offshore the plume disperses and identify which reefs are exposed to riverine inputs (Fig 12).

Baseline results: SDR & WQM

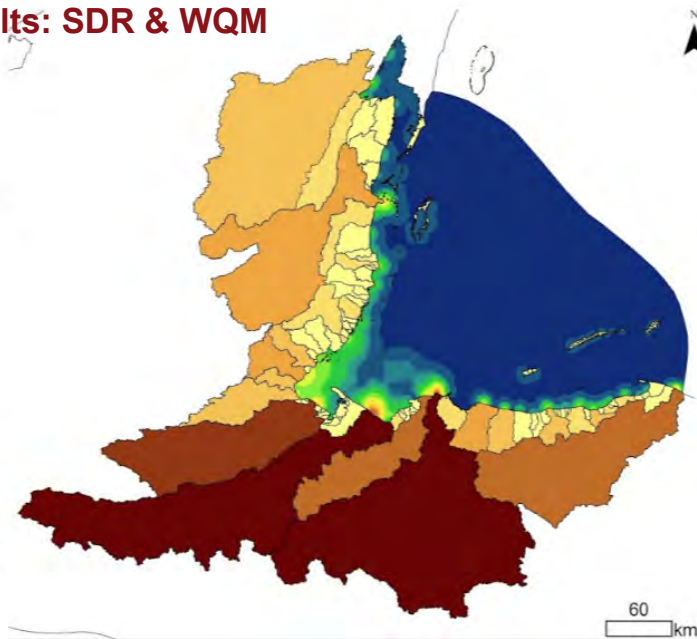
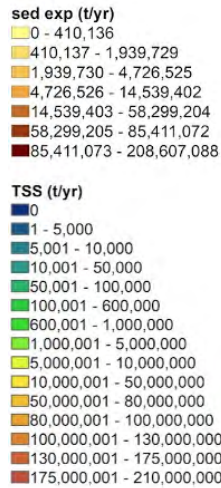


Fig 11: Sediment loads of watershed within the MAR

Using all the aforementioned information, the project was able to identify watersheds that are linked to marine services due to change in water quality as shown in Figure 12 with the land-sea color codes. For instance, in panel A and B, we found that watersheds in central Belize (e.g., Belize River)

and southern Belize (e.g., Monkey River, Deep River, and Moho River) as well as Honduras (Chamelecon) can affect Belize's reefs. However, this work is based on modeling, and we would like to use localized empirical data to do this resilience assessment in the future.

IKI SMART COAST MAR Project

Ex: Watersheds driving changes in coral reef resilience through sediment export

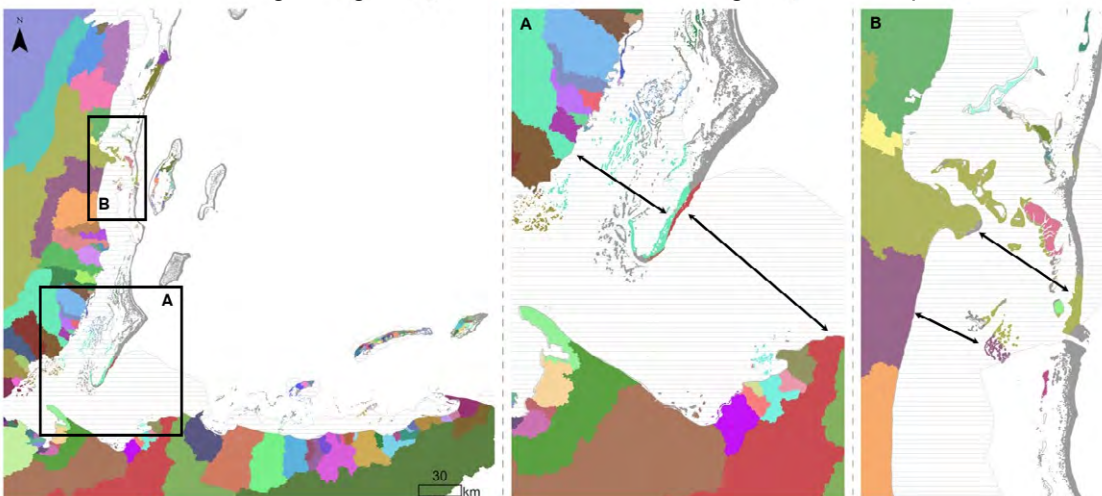


Fig 12: Watersheds driving changes in coral reef resilience through sediment export

To help fill localized sedimentation data gaps, it is recommended that a simple cost-effective method to assess sedimentation using the Secchi disk approach be used. This can easily be integrated in field surveys. Secchi disks is a standardized and common metric that captures the basic

elements of water quality. It can allow for the identification of reef areas exposed to increasing sedimentation. Note though, that the horizontal measure (Fig 13) is recommended because coral reefs are often shallow and often have clear waters.

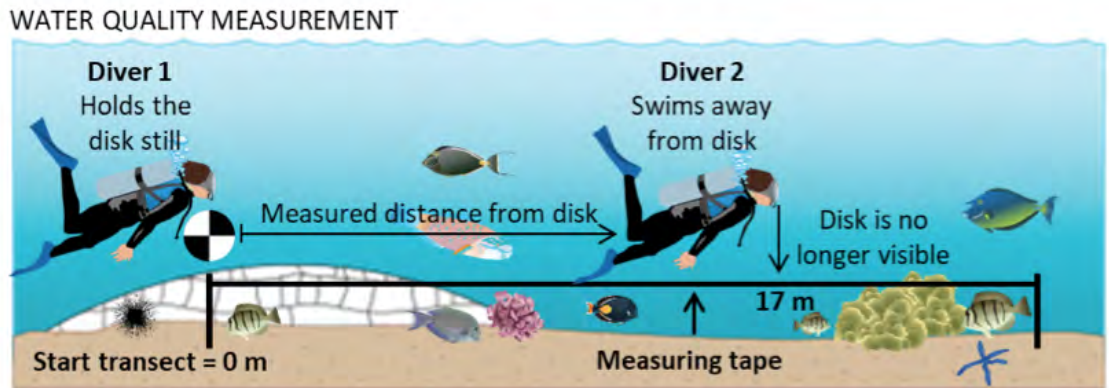


Fig 13:
Recommended
Secchi Disk
measure for water
quality monitoring
on reef

Water quality data should be recorded more frequently than benthic and fish sampling, usually between weekly to monthly intervals at standardized sites (e.g., 1-8 total) that are ideally co-located with the reef monitoring sites.

ADAPTATION OPTIONS

The project also set out to identify strategies that can help enhance resilience potential of MPAs. A portfolio of resilience options tailored to reducing impacts on the target MPAs are shown in the below table.

Resilience options	What is the action?	Where can this activity happen?
Protect mangroves	Maintain existing habitat through enforcement of existing protection laws within and outside MPAs, and designation of new protected areas. Also strengthen regulations related to clearing mangroves on private land, consider land trusts and incentives related to blue carbon.	Existing healthy mangrove: whether it is in a protected area or not and whether on public or private land.
Restore mangroves	Restore mangrove through plantings and restoration of hydrology.	Mangrove restoration happens both in areas where mangrove currently exist but are degraded and in areas where mangroves have been cleared
Protect coral reef	Maintain existing habitat through enforcement of existing protection laws and consider designation of new protected areas.	Target 30% coverage by 2030
Restore coral reef	Restore coral through nursery outplantings.	Areas where corals currently exist but are degraded (<10% coral cover), with a focus on replenishment zones.
Restore watersheds that have an influence on the reef	Restore agriculture land-use type to forest by assigning the nearest vegetation type (i.e., broad leaved forest or mangroves), including the riparian buffers	Target land use change (LUC): All agriculture Riparian buffers size: 30m
Protect watershed	Where there is an absence of protection for forest and protect riparian buffers that have been converted (where possible)	Target forest (broad leaved etc.) and mangroves located within 3 km from existing human LUC & on accessible slopes (<45 degrees) Riparian buffers size: 30m Target LUC: All agriculture
Protect seagrass	Develop and implement a national seagrass management policy, to include updated national seagrass mapping and identification of priority seagrass areas for protection to enhance conservation	Target 30% cover by 2030
Restore Coastal Dunes	Restore dunes - usually conducted in areas where there are degraded dunes.	Dune restoration happens primarily in areas where dunes currently exist but are degraded.

Table 3: Resilience solutions identified for implementation. A total of 8 ecosystem-based options were identified. Among these, mangrove protection received the highest scoring from stakeholders. Mangrove restoration, restoration and protections of watersheds, and coral protection and restoration, and seagrass protection received equal scores.

The above list was further narrowed down per country to those shown in the below table (Table 4). The quantitative and spatial distribution targets for the resilience strategies are described in the project's final report.

Table 4: Resilience strategies per country

Resilience Strategies	Belize	Mexico	Honduras
Protect mangroves	X	X	X
Restore mangroves	X	X	X
Protect corals	X	X	X
Restore corals	X	X	X
Protect seagrass	X		
Restore Coastal Dunes		X	X
Protect watersheds	X		X
Restore watersheds	X		X



CONCLUSION

Analyzing and understanding reef resilience can aid managers to put in place meaningful actions to better manage their MPAs under changing climatic conditions. Resilience helps reefs to resist and recover after disturbances such as storms and mass coral bleaching events. Coral reefs are being exposed to such devastating events with increasing frequency, making the need for increased knowledge to inform response an urgency. Undertaking resilience assessments over time allows for measuring and monitoring change within the system, the progress made by management, and any adaptive management that may be needed. By doing this, it is possible to:

1. Examine spatial variation in resilience indicators, resilience scores, and anthropogenic stress.
2. Identify which indicators most account for differences in resilience among sites.
3. Identify sites that have coral communities likely to be more resilient to climate change and other human stressors.
4. Examine the extent to which reefs with high or low resilience are represented within the various use zones of an existing MPA or MPA network.
5. Identify and prioritize management actions or strategies that will reduce stress at the greatest number of sites, at high resilience sites, and/or at sites that are conservation priorities for other reasons, such as climate refugia or sites with high biodiversity or cultural value; and
6. Monitor trends in resilience indicators and resilience through time.



© Antonio Busiello / WWF Mesoamerica



Working to sustain the natural world for the benefit of people and wildlife.

together possible™ panda.org

©2021
Paper 100% recycled

© 1986 Panda symbol WWF - World Wildlife Fund
® "WWF" is a WWF Registered Trademark. WWF, Avenue du Mont Bland, 1196 Gland, Switzerland. Tel. + 41 22 346 9111. Fax. +41 22 364 0332.



Stanford
WOODS
INSTITUTE for the
ENVIRONMENT



THE
PEW
CHARITABLE TRUSTS

Supported by:



Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation
and Nuclear Safety
based on a decision of the German Bundestag



Healthy Reefs
for healthy people



ANÁLISIS DE LA RESILIENCIA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO PARA ÁREAS MARINAS PROTEGIDAS DEL SISTEMA ARRECIFAL MESOAMERICANO

Autores

Dr. Jade Delevaux, Nadia Bood, Luis Chévez y Alejandra Calzada

Revisores técnicos

Dr. Gabby Ahmadia, Dr. Melanie McField, Janet Gibson y Emma Doyle
2021

Cita sugerida

Evaluación de la Resiliencia al Cambio Climático para Áreas Protegidas del Sistema Arrecifal Mesoamericano. Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF Mesoamérica) 2021

Fotografía de portada

Antonio Busiello / WWF Mesoamérica

© 1986 símbolo de Panda de WWF – Fondo Mundial para la Naturaleza

® "WWF" es una Marca Registrada. WWF Internacional, Rue Mauverney 28, 1196 Gland, Suiza. Tel. + 41 22 346 9111. Fax. +41 22 364 0332.



ENFOQUE

El proyecto estaba orientado a analizar las amenazas antrópicas y naturales sobre las áreas marinas protegidas seleccionadas, así como evaluar su resiliencia. El enfoque implicaba el uso de un marco de análisis para calcular un Índice Integrado de Resiliencia de Arrecifes (IRRI), usando nueve indicadores de coral y especies asociadas a los corales, además de dos factores de estrés (Figura 3). Este índice ofrece un proceso simplificado para la evaluación del nivel de resiliencia de las AMP a lo largo del tiempo.

El proyecto seleccionó un total de 25 áreas marinas protegidas (AMP) dentro de la región del Sistema Arrecifal Mesoamericano. Los datos analizados abarcaron el periodo desde el 2006 al 2018, obtenidos de la Iniciativa Arrecifes Saludables (es decir, 6 años de datos con base en monitoreos semestrales). En general, se analizó el conjunto de datos de 517 estudios en toda la región.



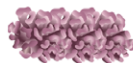
Figura 2: Sitios de arrecifes de coral evaluados dentro del SAM.

Figura 3: Los 9 indicadores evaluados en el análisis: Los indicadores ecológicos incluyen la cobertura de coral (CCV), macroalgas carnosas (IMC), riqueza de especies de coral (REC), prevalencia de enfermedades de coral (PEC), reclutamiento de coral (RC), biomasa de peces herbívoros (BPH) y densidad de erizos de mar (DE). Los dos factores ambientales de estrés incluyen la temperatura (DHW) y la sedimentación (DS).

Resumen de datos y modelos

Indicadores bénticos

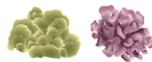
Cobertura de coral vivo



Índice de macroalgas carnosas



Riqueza de especies de coral



Prevalencia de enfermedades de coral



Reclutamiento de coral



Indicadores de herbívoros

Biomasa de peces herbívoros



Densidad de erizos



Factores ambientales de estrés

Sedimento



Temperatura



INDICADORES ECOLÓGICOS

Los valores de los datos de los indicadores para cada sitio se calificaron de acuerdo con las descripciones específicas de calificación de muy bueno, bueno, regular y crítico. La descripción de la calificación para cada indicador biológico

se muestra en la Figura 4 y toma en cuenta una escala numérica para cada condición. A cada indicador se les dio igual importancia y fueron valorados por igual dentro de la evaluación.

1. Indicadores de coral	
COBERTURA DE CORAL VIVO Avg percentage live coral cover per site Muy bueno > 30 Bueno = 15.0 – 29.9 Regular = 10.0 – 14.9 Pobre = 5.1 – 9.9 Crítico < 5%	PREVALENCIA DE ENFERMEDADES CORALINAS % Total de corales enfermos (De colonias con diámetros < 4 cm) Muy bueno = <1%. Bueno = 1.1% Hasta 1.9%. Regular - 2.0% hasta 3.9%. Pobre = 4.0% hasta 6.0%. Crítico = >6%
RIQUEZA DE ESPECIES DE CORAL Muy bueno = >14 Bueno = 11 – 13 Regular = 9 – 10 Pobre = 7 – 8 Crítico = < 6	RECLUTAMIENTO DE CORAL DENSIDAD DE TODOS LOS RECLUTAS (M²) Muy bueno = 10#/m ² o superior Bueno = 5.0 #/ m ² hasta 9.9 #/m ² Regular = 3.0 #/ m ² hasta 4.9 #/m ² Pobre = 2 #/ m ² hasta 2.9 #/m ² to Crítico = <2 #/m ²

2. Indicador de algas
ÍNDICE DE MAGROALGAS CARNOSAS: COBERTURA DE MACROALGAS CARNOSAS (%) X PROMEDIO DE ALTURA DE ALGAS (CM) Muy bueno = < 10 Bueno = 10 – 19 Regular = 20 – 39 Pobre = 40 – 59 Crítico = > 60

3. Indicadores de herbívoros	
BIOMASA DE PECES HERBÍVOROS Pez loro y pez cirujano (G/100m ²) Muy bueno = > 6,000 Bueno = 3,500 – 5,999 Regular = 2,500 – 3,499 Pobre = 1,500 – 2,499 Crítico = 0 – 1,499	DENSIDAD DE ERIZO # Diadema antillarum (#/m ²). Muy bueno = >2.5 and <-7 Bueno = 1.1 – 2.5 Regular = 0.5 – 1.0 Pobre = 0.25 – 0.49 Crítico = < 0.25

Figura 4a, b y c: La calificación que se le dio a los indicadores ecológicos: cobertura de coral, riqueza de especies, enfermedades, reclutamiento de coral, macroalgas, peces herbívoros y erizos de mar.

FACTORES DE ESTRÉS

Además de los siete indicadores ecológicos, el proyecto evaluó dos factores de estrés arrecifal: la temperatura y la sedimentación. Es importante evaluar la temperatura, particularmente de la superficie del mar, dado su posible impacto en los arrecifes cuando se eleva, lo que favorece los eventos masivos de blanqueamiento de coral. Los modelos climáticos, que se desarrollaron en alianza con la NASA y el Centro de Investigación del Sistema Climático de la Universidad de Columbia y el Proyecto de Capital Natural de la Universidad de Stanford, revelan un aumento esperado de la temperatura que podría continuar afectando a los arrecifes (Fig. 5). Por lo tanto, este es un indicador importante que hay que monitorear con el paso del tiempo.

Temperatura media en todo el SAM

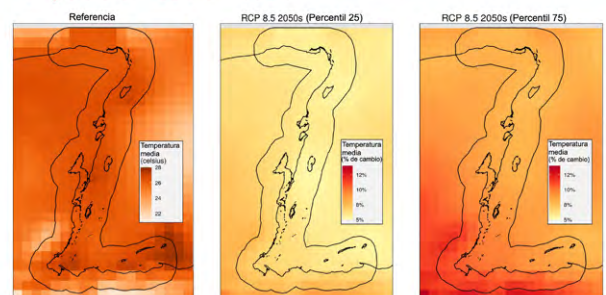


Figura 5: Resultados de los modelos climáticos para el SAM

4. Temperatura - Promedio de temperatura o DWH (NOAA)

- 5 Muy bueno/Bueno = < 4 DWH = Sin blanqueamiento
- 3 Pobre = 4 – 8 DWH = Riesgo de blanqueamiento
- 1 Crítico = >8 DWH = Mortalidad por blanqueamiento

5. Sedimentación – Kd490

Fuente: NASA Ocean Color (Kd490)

Fuente: NOAA Coral Reef Watch Program

Figura 6: Calificación para el indicador de temperatura como factor de estrés, usando los promedios de temperatura (DWH) obtenidos del Programa Coral Reef Watch de la NOAA.

El proyecto también intentó evaluar la sedimentación como un factor de estrés en los arrecifes (Fig. 6). La calidad de agua está influida por muchos factores, que van desde el aporte oceanográfico de nutrientes, el desarrollo de algas en la columna de agua, los aportes terrestres (p. ej., lodo y limo) y la intervención antrópica. Intentamos hacer un modelo de los efectos de la sedimentación en el arrecife usando datos de Kd490 de percepción remota con OceanColor de la NASA, para evaluar el impacto de la sedimentación y la turbidez en los arrecifes de coral de todo el SAM. Este algoritmo permite evaluar el coeficiente de atenuación difusa para la penetración de la radiación solar incidente a 490 nm (Kd_490) en un metro de profundidad, calculado usando una relación empírica derivada de medidas in situ de Kd_490

(https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/kd_490/) e índices de banda azul a verde de las reflectancias de percepción remota (Rpr). La implementación de este algoritmo depende de la disponibilidad de reflectancias en la región espectral azul-verde (p. ej., longitud de onda de 489-565 nm).

CÁLCULO DEL IRRI

Combinamos cada indicador en una escala de 5 puntos, donde 5 es la calificación más alta y 1 es la más baja. Y, luego, combinamos todos los indicadores usando la ecuación 1, que se muestra en la fig. 7, y que básicamente estima un promedio. Finalmente, normalizamos las calificaciones entre 0 y 1 para cada AMP usando la ecuación #2.

Calcular el IRRI

Promediar los valores de indicadores **POR MPA**

$$IRRI_{AMPi} = (CCV + IMC + REC + PEC + RC + BPH + DE + DS + DHW) / N \quad (E_0 1)$$

Normalice el índice 0-1 **POR MPA**

$$IRRI_{nAMPi} = (IRRI \times 10 \times 2) / 100 \quad (E_0 2)$$

Descripción de calificación	Escala normal de calificación (1-5)	Calificación normalizada (0-1). Normalización potencial de la escala de calificación de 1-5 score range – e.j. (x'10 ²)/100	Rango potencial de calificación, con el rango de puntuación más alto en la columna 3
Muy bueno	5	1	0.85 – 1.00
Bueno	4	0.8	0.65 – 0.80
Regular	3	0.6	0.45 – 0.60
Pobre	2	0.4	0.25 - 0.40
Crítico	1	0.2	Menor o igual que 0.20

Figura 7: Fórmulas y criterio utilizados para calcular el IRRI

RESULTADOS

De las veinticinco (25) AMP que se evaluaron en el estudio, la mayoría obtuvieron una calificación de “regular” para su resiliencia, que aparecen en amarillo en el mapa. Una AMP en México obtuvo una calificación de “pobre”, como se muestra en naranja en el mapa. Una AMP en México, tres en Belice y tres en Honduras obtuvieron una calificación de “bueno”, como se muestran en verde en el mapa. Observe

que Half Moon Caye en Belice (Figura 8 y Tabla 1) obtuvo una calificación de “muy bueno”, como se muestra en azul, aunque solo teníamos dos de un total de nueve indicadores específicos para la evaluación. Por lo tanto, esto no representa el panorama completo de la resiliencia en esta AMP.

1. IRRI de las AMP

La mayoría de las AMP en los tres países obtuvieron una calificación de “Regular”.

Sian Ka'an en México obtuvo una calificación de “Pobre”.

El Refugio Marino de Vida Silvestre Bahía de Tela, Parque Nacional Marino Islas de la Bahía y el Monumento Natural Marino Archipiélago Cayos Cochinos en Honduras; Costa Occ. de I. Mujeres, Pta. Cancún y Punta Nizuc in México, y la Reserva Marina Hol Chan, el Parque Nacional Laughing Bird Caye y la AR en South Poing Lighthouse en Belice obtuvieron calificaciones de “Bueno”.

El Monumento Natural Half Moon Caye obtuvo una calificación de resiliencia de “Muy bueno”, aunque solo tenía dos indicadores.

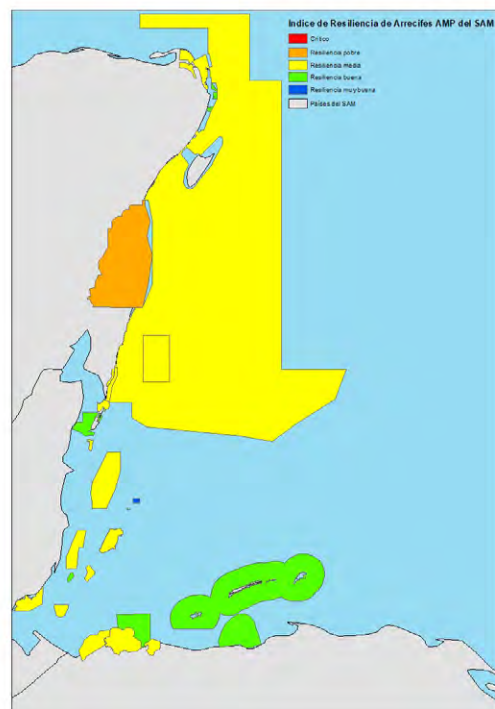







Figura 8: Mapa y descripción del IRRI

Tabla 1: Las AMP seleccionadas y la respectiva calificación de su resiliencia

País	AMP	CCV	REC	PEC	RC	BPH	IMH	DE	DS	DHW	IRRI	IRRI _{AMP}
Belize	Reserva Marina Caye Caulker	2.7	4.0	3.0	1.0	2.3	2.5	2.5		5	2.88	0.58
	Agregación Reproductiva (AR) en Gladden Spit	4.0	5.0	4.0	1.0	1.0	1.0	1.0		5	2.75	0.55
	AR en Seal Caye	3.0	3.0		1.0	4.0	5.0	1.0		3	2.86	0.57
	Monumento Natural Halfmoon Caye					4.0				5	4.5	0.90
	Reserva Marina Bacalar Chico	2.8	3.6	2.8	1.6	1.3	1.3	1.0		3	2.18	0.44
	Reserva Marina del Atolón Turneffe (Maugre)	2.7	4.1	4.4	1.9	2.2	3.5	1.4		3	2.90	0.58
	Reserva Marina Cayo Sapodilla	2.2	4.0	3.0	3.0	1.8	3.4	1.4		3	2.73	0.55
	AR en South Point Lighthouse	4.0	4.5	5.0	2.0	1.0	4.0	1.0		5	3.31	0.66
	Reserva Marina Gladden Spit y Silk Cayes	2.7	4.3		2.0	3.3	2.3	1.0		3	2.66	0.53
	Reserva Marina South Water Caye	2.7	3.1	4.3	2.1	2.2	2.4	1.0		3	2.60	0.52
	Reserva Marina Hol Chan	5.0	3.0			3.2	4.0	1.0		3	3.2	0.64
	Reserva Marina Glover's Reef	3.0	4.1	4.9	1.5	1.8	2.5	1.3		3	2.76	0.55
	Reserva Marina de Puerto Honduras	1.8	2.2		1.1	2.6	4.1	1.6		3	2.34	0.47
	Parque Nacional Laughing Bird Caye	2.8	4.6	5.0	3.8	3.0	1.5	1.2		3	3.11	0.62

País	AMP	CCV	REC	PEC	RC	BPH	IMH	DE	DS	DHW	IRRI	IRRI _{AMP}
Honduras	Refugio Marino de Vida Silvestre Bahía de Tela	4.8	3.8	5.0	3.3	1.4		3.6		3	3.56	0.71
	Parque Nacional Blanca Jeannette Kawas	3.5	4.8	4.7	2.5	1.0	3.3	1.0		3	2.98	0.60
	Parque Nacional Marino Islas de la Bahía	4.0	4.6	4.4	2.3	3.6	2.0	1.0		3	3.11	0.62
	Parque Nacional Punta Izopo	3.0	2.5	4.7	2.0	1.0		1.5		3	2.52	0.50
	Monumento Natural Marino del Archipiélago de Cayos Cochinos	3.4	3.6	4.4	2.0	1.0	1.9	1.2		5	3.06	0.61
	Zona costera entre Cuyamel y Janette Kawas	3.0	2.0		2.7	3.3	1.5	2.0		3	2.50	0.50
Mexico	Arrecifes de Xcalak	3.0	3.8	4.3	1.5	2.0	2.5	1.6		5	2.97	0.59
	Sian Ka'an	2.0	2.8	2.5	1.8	1.3	3.3	1.2		1	2.00	0.40
	Banco Chinchorro	2.4	2.3	4.7	1.6	1.7	2.4	1.2		5	2.6	0.53
	Caribe mexicano	2.5	3.4	2.5	2.2	2.5	3.4	1.4		1	2.36	0.47
	Costa Occ. de I. Mujeres, Pta. Cancún y Punta Nizuc* y Punta Nizuc (Parque Cancún)	2.8	3.0	5.0	1.3	3.3	1.0			5	3.04	0.61

CLAVE PARA LA TABLA 2: POTENCIAL DE RESILIENCIA RELATIVA

Muy bueno  Bueno  Regular  Pobre  Crítico 

La tabla muestra los valores asignados con base en la escala de cinco puntos para los indicadores de resiliencia ecológica y la calificación final de IRRI, con base en los colores de la clave al pie de la tabla.

Cabe notar que hay vacíos de datos con respecto a la sedimentación en todas las AMP. El proyecto no pudo encontrar los datos localizados de sedimentación con base en el tiempo y el espacio dentro de las AMP para integrarlos en el análisis. Se intentó hacer un modelo de los efectos de la sedimentación en los arrecifes, pero fue difícil integrarlo

dentro del análisis del IRRI (esto se discute más adelante en la sección “Conclusiones clave” del análisis). Algunas AMP tienen vacíos en los datos de indicadores ecológicos, como enfermedades coralinas, reclutamiento de coral, erizos de mar y macroalgas carnosas (p. ej., Hol Chan, Gladden Split y Puerto Honduras en Belice; Costa Occ. de I. Mujeres, Pta. Cancún y Punta Nizuc y Punta Nizuc en México, y Refugio Marino de Vida Silvestre Bahía de Tela, Parque Nacional Punta Izopo y la zona costera entre Cuyamel y Janette Kawas en Honduras). Existe muy buena cobertura de los otros indicadores.

CONCLUSIONES CLAVE

Con base en este análisis, ahora ya se cuenta con valores que se pueden usar de referencia para futuras evaluaciones de resiliencia. Un mapa integral y una tabla de la resiliencia arrecifal ya están disponibles con información sobre la resiliencia de las AMP dentro del SAM. El proyecto también identificó que las AMP necesitan más muestreos, particularmente de sedimentación, lo cual falta en el análisis. Como siguiente paso, es necesario llenar los vacíos de información para los indicadores que faltan. También es necesario recolectar los datos de calidad de agua para todas las AMP.

A pesar de que el proyecto no pudo obtener información localizada de la calidad de agua, sí se hizo un modelo del potencial de sedimentación en el ambiente marino.

Estos mapas en la Figura 9 muestran las cuencas que drenan hacia la región del Sistema Arrecifal Mesoamericano. Es importante recordar que estas áreas tierra adentro pueden afectar la calidad del agua de las AMP. La descarga de sedimento es la cantidad de sedimento que llega a un arroyo, cuya mayor influencia es la topografía, como se puede ver a

partir del mapa de elevación: las montañas de Guatemala y Honduras muestran una mayor descarga. El uso del suelo también tiene una función importante, como áreas de agricultura, tierra estéril, caminos de tierra y otros. Estos usos, por lo general, generan más erosión y los terrenos no son buenos para retener suelo, como los pastizales densos y los bosques. Al observar a Guatemala y Honduras, no solo estas áreas son montañosas, sino también tienen mucha agricultura y pastizales.

Aunque es difícil saber a dónde se va el suelo, podríamos aprovechar este tipo de información para examinar los lugares que más lo están perdiendo. La información se puede usar para dirigir prácticas agrícolas mejoradas, etc., lo que también podría beneficiar a los agricultores que no quieren perder su suelo. La descarga de sedimentos no aplica para Yucatán, México. Esta área es plana y kárstica, sin arroyos, y cuenta con una hidrología subterránea muy compleja. Este tipo de áreas requiere de modelos especializados y usualmente localizados, de manera que los resultados de descarga no aplican aquí.

Descarga y retención de sedimento - Insumos del modelo SDR

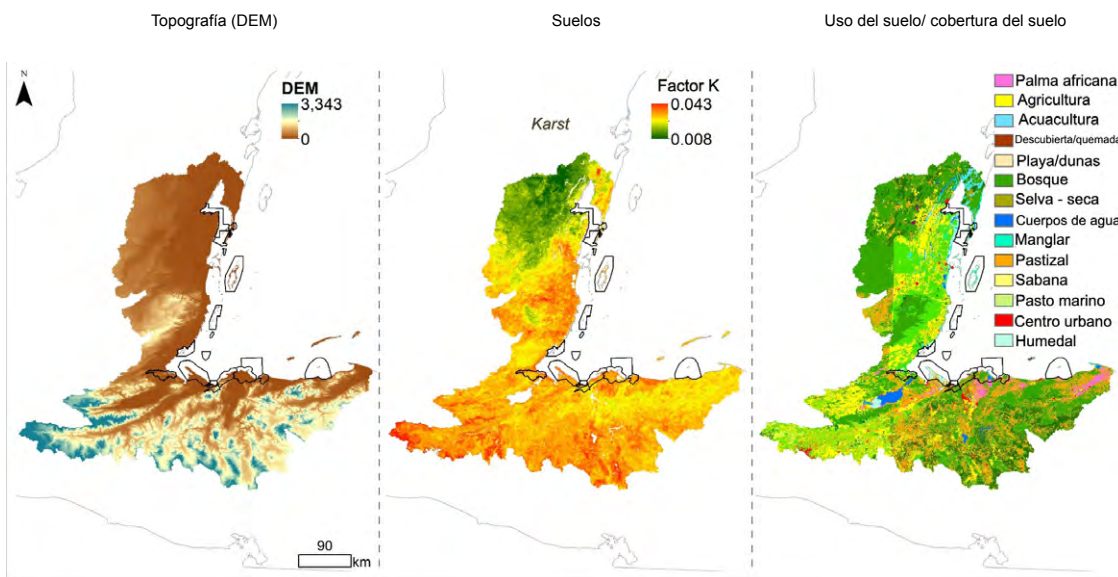


Figura 9: Descarga y retención de sedimentos en la región del SAM

La tabla a continuación (Tabla 2) muestra la descarga de sedimentos (%), la descarga relativa para cada país de la región hacia el ambiente marino. Belice aporta la menor cantidad de sedimento (6%), comparado con la mayoría de sedimento que descargan Guatemala (47%) y Honduras (46%) hacia el ambiente marino. Esto puede ser debido a

la geografía local, en la que Guatemala y Honduras tienen los picos montañosos más altos, con tierras más altas y pendientes con mayor inclinación, comparado con Belice. En términos de la clasificación del uso del suelo, Belice tiene más paisaje natural intacto que Guatemala y Honduras.

Tabla 2:
Descarga de sedimentos por país

Resultados de referencia: ¿Cómo varía la descarga de sedimento por país y en todo el SAM?

	Belice	Guatemala	Honduras
Descarga de sedimento (%)	6	47	46
Descarga de sedimento (t/año)	39,163,043	299,578,020	293,599,495
Elevación (metros)			
max:	1,242	3,345	2,852
media:	185	881	732
Pendiente (grados)	5	15	15
CUS (% de área total)			
Natural:	79	57	59
Humano:	21	43	41

Inicialmente, el proyecto intentó aprovechar los datos de turbidez de percepción remota, utilizando Kd490 de OceanColor, como se muestra en los dos mapas de la Figura 10, en donde el azul indica una baja turbidez y el rojo indica una alta turbidez. Aunque este tipo de información puede ser muy útil pues provee datos mensuales a una escala global, estos grupos de datos están a una escala gruesa (4 km x 4 km) y hace falta más investigación que permitiría establecer

rangos de valores Kd490, lo que podría sugerir que hay estrés en los arrecifes de coral. Este algoritmo determina el coeficiente de atenuación difusa para la penetración de la radiación solar incidente a una longitud de onda de 490 nm (Kd_490) en 1 m de profundidad, calculado utilizando una relación empírica derivada de las mediciones in situ de Kd_490 y los índices de banda azul a verde de las reflectancias de percepción remota (Rpr).

Desafíos - Sedimento

- Evaluamos la posibilidad de usar Kd490 para datos de percepción remota con Ocean Color para evaluar el impacto del sedimento y la turbidez en los arrecifes de coral
- Pero estos datos están a una escala más gruesa (4km x 4km) y hace falta investigación para establecer los rangos de valores de Kd490 que podrían identificar posibles factores de estrés en los arrecifes de coral.

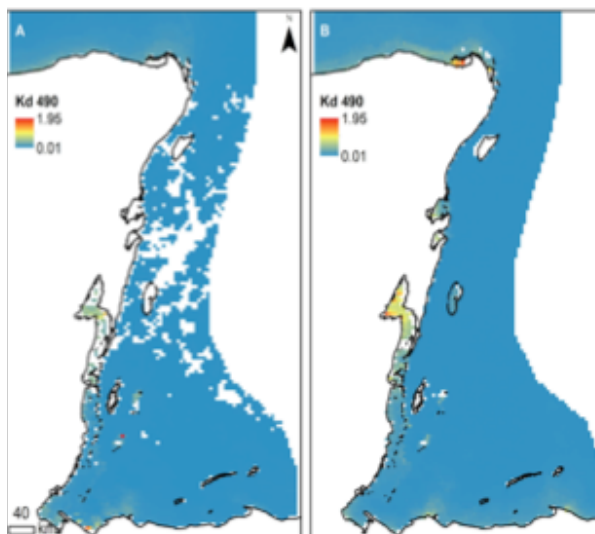


Figura 10: Análisis de los datos de OceanColor para el SAM

El proyecto también examinó la sedimentación y la posible influencia en la calidad del agua costera. La descarga total de sedimentos está arriba de 600 millones de toneladas de sedimento por año, cuya mayoría las aporta Guatemala y Honduras (Figura 11). La descarga de sedimentos se dispersó desde la línea costera hacia el ambiente marino con el modelo de calidad de agua de Proyecto de Capital Natural. Debido a la variación espacial de la descarga de sedimentos en la tierra, se observó que el total de sedimentos en suspensión (TSS) es

mayor en un orden de magnitud en las costas de Guatemala y Honduras que en Belice. Se llevó a cabo un análisis de seguimiento que comparaba visualmente el modelo de la pluma con las imágenes de SeaWiFS, las cuales pueden proveer información semanal sobre Chla, la coloración de materia orgánica disuelta y el sedimento en suspensión. Esta información se usa para determinar hasta dónde se dispersa la pluma mar adentro e identificar los arrecifes que están expuestos a los aportes fluviales (Figura 12).

Resultados de referencia: SDR & WQM

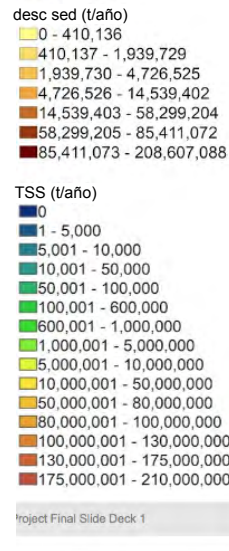


Figura 11: Carga de sedimentos de la cuenca dentro del SAM

Dicha información permitió que el proyecto pudiera identificar las cuencas que están vinculadas a los servicios marinos debido al cambio en la calidad de agua, como se muestra en la Figura 12, según la clave de colores para tierra y mar. Por ejemplo, en los cuadros A y B observamos que las cuencas del centro de Belice (p. ej., Belize River) y al sur de

Belice (p. ej., Monkey River, Deep River y Moho River), así como en Honduras (Chamelecón) pueden afectar los arrecifes de Belice. Sin embargo, este trabajo está basado en modelos, y nos gustaría usar datos empíricos localizados para realizar esta evaluación de resiliencia en un futuro.

Proyecto de Costas Listas en el SAM de IKI

Ej: Los cambios en la resiliencia derivado de la descarga de sedimento en las cuencas

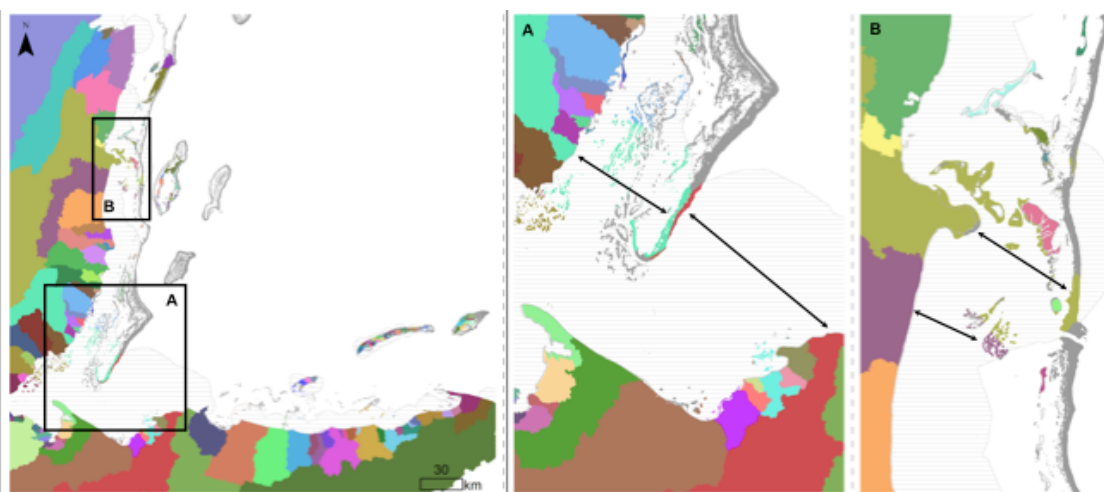


Figura 12: Los cambios en la resiliencia derivado de la descarga de sedimentos en las cuencas

Para ayudar a llenar los vacíos localizados de datos de sedimentación, se recomienda la utilización de un método simple y asequible para evaluar la sedimentación usando el método con disco Secchi. Esto se puede integrar fácilmente en los estudios de campo. El uso del disco Secchi es un criterio estandarizado y común de medición que toma los

elementos básicos de la calidad de agua. Permite identificar las áreas arrecifales que están expuestas a la creciente sedimentación. Cabe mencionar que se recomienda la medición horizontal (Figura 13) porque los arrecifes de coral frecuentemente son poco profundos y a menudo tienen aguas cristalinas.

Medición de la calidad del agua



Figura 13: Medición recomendada con disco Secchi para monitorear la calidad de agua en arrecife

Los datos de la calidad de agua se deben registrar con mayor frecuencia que los muestreos bénticos y de peces, usualmente en intervalos semanales o mensuales, en sitios estandarizados (p. ej., 1-8 total) que estén ubicados idealmente en el mismo sitio que los sitios arrecifales con monitoreo.

OPCIONES DE ADAPTACIÓN

El proyecto también estaba orientado a identificar las estrategias que pudieran ayudar a mejorar el potencial de resiliencia de las AMP. En la tabla a continuación se muestra un portafolio de opciones de resiliencia diseñadas para reducir los impactos en las AMP seleccionadas.

Tabla 3: Soluciones identificadas para resiliencia para su implementación. Se identificaron un total de 8 opciones basadas en ecosistemas. Entre estas, la protección de manglares obtuvo la mayor puntuación de los actores. La restauración de manglares, la restauración y protección de cuencas y la protección y restauración de corales y la protección de pastos marinos obtuvieron puntuaciones iguales.

Opciones de resiliencia	¿Cuál es la acción?	¿Dónde se puede llevar a cabo esta actividad?
Proteger los manglares	Mantener el hábitat existente por medio de la implementación de leyes de protección vigentes dentro y fuera de las AMP, y asignar nuevas áreas protegidas. También reforzar las regulaciones relacionadas con la tala de manglares en terrenos privados y contemplar los fideicomisos de tierras y los incentivos relacionados con el carbono azul.	En manglares sanos que ya existen: puede ser en un área protegida o no y si está en un terreno público o privado.
Restaurar manglares	Restaurar manglares por medio de siembra y restauración de la hidrología.	La restauración de manglares se lleva a cabo tanto en áreas donde actualmente existe manglar pero está degradado, así como en áreas donde ha sido talado.
Proteger el arrecife de coral	Mantener el hábitat existente por medio de la implementación de las leyes de protección vigentes y contemplar la asignación de nuevas áreas protegidas.	Apuntar a 30% de cobertura para el 2030.
Restaurar el arrecife de coral	Restaurar el coral por medio de trasplante de plántulas de vivero.	En áreas donde actualmente existe manglar pero está degradado (<10% de cobertura coralina), principalmente en áreas de recuperación.
Restaurar cuencas que tienen influencia en el arrecife	Restaurar el suelo de uso agrícola a bosque con el tipo de vegetación más cercano (bosque latifoliado o manglar), inclusive amortiguadores riparios.	Apuntar al cambio de uso del suelo (CUS): Todos los amortiguadores riparios de agricultura, con un tamaño de 30 m.
Proteger la cuenca	Donde quiera que falte la protección de bosques y proteger los amortiguadores riparios que se han modificado (donde sea posible)	Dirigido a bosques (latifoliados, etc.) y manglares ubicados dentro de 3 km de CUS humano y en pendientes accesibles (<45 grados). Tamaño de amortiguadores riparios: 30 m CUS objetivo: Toda agricultura
Proteger pastos marinos	Desarrollar e implementar una política nacional para el manejo de pastos marinos, que debe incluir el mapeo actualizado de pastos marinos a nivel nacional y la identificación de áreas de pasto marino prioritarias para su protección, con el fin de mejorar la conservación.	Apuntar a 30% de la cobertura para el 2030.
Restaurar dunas costeras	Restaurar dunas. Usualmente se lleva a cabo donde hay dunas degradadas.	La restauración de dunas se realiza principalmente en áreas donde hay dunas pero están degradadas.

La lista anterior se redujo posteriormente por país, que incluye aquellos que se muestran en la tabla a continuación (Tabla 4). Los objetivos cuantitativos y de distribución espacial para las estrategias de resiliencia están descritos en el informe final del proyecto.

Tabla 4: Estrategias de resiliencia por país

Estrategias de resiliencia	Belice	México	Honduras
Proteger manglares	X	X	X
Restaurar manglares	X	X	X
Proteger corales	X	X	X
Restaurar corales	X	X	X
Proteger pastos marinos	X		
Restaurar dunas costeras		X	X
Proteger cuencas	X		X
Restaurar cuencas	X		X



CONCLUSIÓN

Analizar y comprender la resiliencia de los arrecifes permite a los gestores a que puedan poner en práctica acciones significativas para un mejor manejo de las AMP frente a las condiciones climáticas cambiantes. La resiliencia ayuda a los arrecifes a resistir y recuperarse de las perturbaciones, como las tormentas y los eventos masivos de blanqueamiento de coral. Cada vez más a menudo los arrecifes de coral están siendo expuestos a eventos devastadores, por lo que es indispensable tener un mayor conocimiento para generar una respuesta urgente. El desarrollo continuo de evaluaciones de resiliencia permite medir y monitorear los cambios dentro del sistema, los avances del manejo y cualquier manejo adaptativo que se requiera. Al llevarlas a cabo, es posible:

1. Examinar la variación espacial en los indicadores de resiliencia, la calificación de resiliencia y el estrés antrópico.
2. Identificar los indicadores que causan más diferencias de resiliencia entre los sitios.
3. Identificar los sitios que tienen comunidades de coral con mayores posibilidades de ser más resilientes al cambio climático y a otros factores de estrés antrópico.
4. Examinar la medida en que los arrecifes con alta o baja resiliencia están representados dentro de las diversas zonas de aprovechamiento de una AMP existente o una red de AMP.
5. Identificar y priorizar las acciones o estrategias de manejo que reduzcan el estrés en más sitios, en sitios con alta resiliencia y/o en sitios que son prioritarios para su conservación por otras razones, tales como refugios climáticos o sitios con alta diversidad o valor cultural, y
6. Monitorear las tendencias de los indicadores de resiliencia y la resiliencia a través del tiempo.



© Antonio Busiello / WWF Mesoamerica



Working to sustain the natural world for the benefit of people and wildlife.

together possible™ panda.org

©2021
Papel 100% reciclado

© 1986 símbolo de Panda de WWF – Fondo Mundial para la Naturaleza
® "WWF" es una Marca Registrada. WWF Internacional, Rue Mauverney
28, 1196 Gland, Suiza. Tel. + 41 22 346 9111. Fax. +41 22 364 0332.