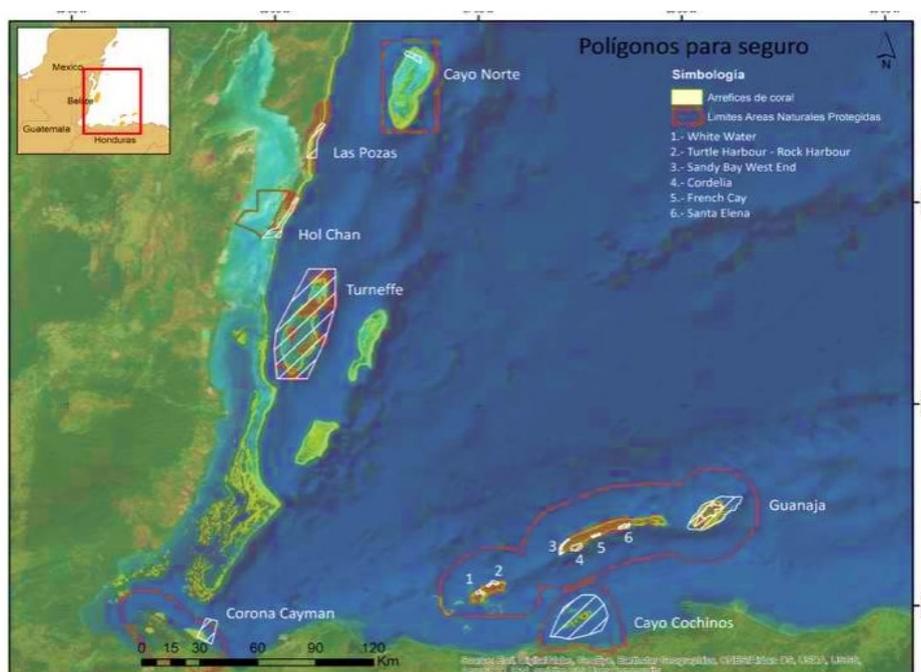




FONDO PARA EL SISTEMA ARRECIFAL MESOAMERICANO

INICIATIVA MESOAMERICANA DE RESCATE DE ARRECIFES

PROPUESTA DE UN SEGURO PARAMÉTRICO EN EL ARRECIFE MESOAMERICANO



Diciembre, 2019

AUTORES

Fernando Secaira

Iniciativa de Resiliencia Costera -The Nature Conservancy

Salvador Pérez

Consultor financiero -The Nature Conservancy

Geiser Tun Pool

Juan Francisco Torres Origel

REVISORES

María José González

Iniciativa Mesoamericana de Rescate de Arrecifes - MAR Fund

Claudia Ruiz

Iniciativa Mesoamericana de Rescate de Arrecifes - MAR Fund

Simon Young

Willis Towers Watson

Este estudio fue elaborado por la Iniciativa de Resiliencia Costera de *The Nature Conservancy*, para la Iniciativa Mesoamericana de Rescate de Arrecifes de MAR Fund; con el apoyo financiero de la Cooperación Alemana a través de KfW, y el acompañamiento técnico del Comité Técnico de la Iniciativa de Rescate de Arrecifes.

Acerca de la RRI

La RRI es implementada en el SAM en colaboración con la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD). Se rige por un Comité Técnico de Proyecto (CTP) y cuenta con la participación de los cuatro países que comparten el SAM: México, Belice, Guatemala y Honduras. Además, esta iniciativa es posible gracias al generoso apoyo de Cooperación Alemana a través del KfW vía un fondo patrimonial de €7 millones.

TABLA DE CONTENIDOS

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1 | <u>IMPORTANCIA DE LOS SEGUROS CONTRA HURACANES PARA ARRECIFES</u> | 3 |
| 2 | <u>CONSIDERACIONES IMPORTANTES</u> | 4 |
| 3 | <u>SITIOS PROPUESTOS PARA SER ASEGURADOS</u> | 5 |
| 3.1 | COBERTURA DE CORAL VIVO EN CADA SITIO | 7 |
| 4 | <u>DEFINIENDO LOS PARÁMETROS PARA EL SEGURO.</u> | 9 |
| 4.1 | LA VELOCIDAD MÁXIMA SOSTENIDA DEL VIENTO POR ENCIMA DE 60 NUDOS SE CORRELACIONA CON DAÑOS A LOS ARRECIFES | 11 |
| 4.2 | LA VELOCIDAD DEL VIENTO AL IMPACTO POR ENCIMA DE 64 NUDOS CAUSA UN DAÑO SIGNIFICATIVO. | 12 |
| 4.3 | LOS ARRECIFES CON MAYOR COBERTURA DE CORAL SUFRIRÁN MÁS DAÑOS QUE LOS ARRECIFES CON POCA COBERTURA DE CORAL | 13 |
| 4.4 | LOS ARRECIFES UBICADOS A SOTAVENTO SON MÁS PROPENSOS A SUFRIR DAÑOS QUE LOS UBICADOS A BARLOVENTO | 14 |
| 4.5 | ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA DE CORAL VIVO | 16 |
| 5 | <u>ESTIMACIÓN DEL COSTO DE REPARAR EL ARRECIFE</u> | 19 |
| 6 | <u>ENFOQUE PARA DEFINIR ESCENARIOS DE POLÍGONOS DE SEGUROS</u> | 22 |
| 7 | <u>ESCENARIOS DE POLÍGONOS DE SEGURO</u> | 25 |
| 7.1 | ANÁLISIS DEL IMPACTO DE HURACANES HISTÓRICOS EN LOS POLÍGONOS PROPUESTOS | 30 |
| 8 | <u>ESCENARIOS DE PAGO DEL SEGURO.</u> | 34 |
| 9 | <u>ANÁLISIS DE ESCENARIOS</u> | 37 |
| 10 | <u>REFERENCIAS</u> | 38 |
| 11 | <u>ANEXO: INFORMACIÓN DETALLADA DE SITIOS Y COSTOS DE REPARACIÓN</u> | 39 |

Cita:

Secaira, Fernando; Perez, Salvador; Tun Pool, Geiser y Torres Origel, Juan Francisco. 2019. Propuesta de un Seguro Paramétrico en el Arrecife Mesoamericano. The Nature Conservancy – MARFund.

1 Importancia de los seguros contra huracanes para arrecifes

Los huracanes tienen un efecto destructivo en los arrecifes, lo cual se encuentra respaldado por diversas investigaciones (Beeden et al., 2015; Gardner et al., 2005; Alvarez-Filip et al., 2011). Se estima que un huracán de categoría 3 a 5 en el Caribe puede causar la pérdida del 10 al 60% de la cobertura de coral vivo. La pérdida puede ser catastrófica y es mucho mayor que la pérdida anual de 2.2% de cobertura de coral vivo causada por todos los demás factores combinados (contaminación del agua, blanqueamiento, enfermedades, etc.). La pérdida anualizada de un sitio afectado por el huracán aumenta de 2.2% a 6.7% (Gardner et al., 2005). En otras palabras, la pérdida anual se triplicaría. Es ampliamente aceptado que las reparaciones posteriores a la tormenta facilitan una mayor recuperación del arrecife.

La reparación de daños después de una tormenta es costosa, ya que requiere la movilización de buzos especializados y bien entrenados para recolectar escombros, volver a unir fragmentos de coral, estabilizar colonias de coral y establecer viveros que permitan el crecimiento de fragmentos más pequeños y eventualmente reubicarlos en el arrecife. El costo varía de USD 100,000 a USD 300,000 para un sitio de 20 km de largo, dependiendo del nivel del daño y el alcance de la respuesta.

Los manejadores de arrecifes necesitan diferentes fuentes de financiamiento para implementar una respuesta posterior a la tormenta. Un seguro es un instrumento apropiado para transferir el riesgo financiero cuando fuertes tormentas afectan el área. Por lo tanto, The Nature Conservancy (TNC) y Reef Rescue Initiative, administrada por MARFund y financiada por el Gobierno alemán a través de KfW, idearon el desarrollo de un seguro para arrecifes contra huracanes en el Arrecife Mesoamericano. TNC, en colaboración con varias universidades y el gobierno de Quintana Roo en México, desarrolló un primer concepto para el Caribe mexicano en 2018. El gobierno de QR, a su vez, solicitó cotizaciones de las compañías de seguros y compró una póliza a través del Fideicomiso para el Manejo de la Zona Costera en 2019.

Para desarrollar un concepto de seguro para el SAM, MARFund, TNC y sus socios, primero reunieron y generaron información esencial para diseñar un seguro:

1. **Identificación de los sitios a asegurar:** CONANP en México, Departamento de Pesca en Belice, CONAP / MARN en Guatemala y HRI-Honduras, en consulta con las partes interesadas locales, identificaron los sitios prioritarios que requerían fondos para realizar una respuesta post tormenta. El proceso de selección fue dirigido por MARFund, con el apoyo de TNC. Las agencias nacionales y las partes interesadas clave celebraron reuniones en cada país para evaluar los sitios propuestos en cada país utilizando criterios como el valor de la biodiversidad, los servicios ambientales proporcionados, el alcance de las amenazas y la capacidad de las partes interesadas para implementar la respuesta y para financiar el seguro.
2. **Evaluar el costo de reparación y restauración.** TNC y sus socios desarrollaron un protocolo que describe las actividades posteriores a la tormenta (Zepeda et al., 2019), detalla las técnicas, las actividades, el equipo y los materiales necesarios y los recursos humanos. Con base en esta información detallada, MARFund contrató a un consultor para estimar el costo de implementar esas actividades en varios sitios en los países a través del SAM (Whiterock et al., 2019).
3. **Correlación de daños a los arrecifes causados por huracanes, con las características de los arrecifes y huracanes.** Un análisis, realizado en colaboración con MARFund, UNAM-ICMYL y TNC, estimó los daños causados por los huracanes a la cobertura de coral y la rugosidad, y evaluó si había correlaciones estadísticas entre las características de los arrecifes con las características de los huracanes y los daños a los arrecifes (Pérez et al., 2019). El análisis identificó que la velocidad máxima del viento, la velocidad del viento en el momento del impacto, la cobertura de coral vivo antes de la tormenta y la ubicación de la barrera con respecto al viento son las cuatro características principales

relacionadas con los daños a los arrecifes. El análisis abarcó 343 sitios en 24 países de la cuenca del Caribe con datos de 1973 a 2017 (44 años).

El proceso para diseñar el concepto de seguro siguió estos pasos:

1. Estimación del área de arrecifes con cobertura de coral vivo dentro de los sitios seleccionados.
2. Estimación de los fondos necesarios para implementar una respuesta post tormenta en cada sitio.
3. Selección del parámetro (velocidad del viento al impacto y velocidad máxima del viento) para activar el seguro, para cada sitio o agregación de sitios. Luego, la selección de los valores de dicho parámetro.
4. Desarrollo de varias opciones de pólizas, combinando los siguientes factores:
 - a. La extensión de los polígonos, considerando un buffer alrededor de los arrecifes asegurados.
 - b. El parámetro y el valor para activar el seguro.
 - c. Los valores del pago del seguro
 - d. La mutualización del riesgo entre los 7 sitios.
 - e. Los límites de responsabilidad.
5. Identificación de los criterios para evaluar los beneficios y desventajas de las diferentes opciones para permitir que el comprador elija el concepto más apropiado.

2 Consideraciones importantes

El análisis consideró los siguientes aspectos clave:

1. Calculamos dos escenarios para estimar el costo de reparación a fin de decidir sobre el pago necesario para el seguro.
 - a. Un escenario calcula el costo de restaurar el área proyectada dañada.
 - b. El otro escenario estima el costo de desplegar la capacidad de respuesta a realizar próximamente, considerando 3 brigadas en cada país.
2. Consideramos varios escenarios de polígonos para el seguro paramétrico. Los escenarios consideraron las siguientes variables:
 - a. La extensión del buffer alrededor de los sitios de arrecife.
 - b. La opción de agrupar los sitios.
 - c. Polígonos distintos para arrecifes vulnerables con mayor cobertura de coral.
3. Los escenarios son opciones para que los interesados puedan comparar y elegir el más apropiado que satisfaga sus necesidades. Los escenarios se valorarán teniendo en cuenta:
 - a. Costo de la póliza.
 - b. Probabilidad de un evento desencadenante.
 - c. Nivel de riesgo base que deberá mantener el comprador.
 - d. Interés del mercado de seguros para vender dicho producto.

3 Sitios propuestos para ser asegurados

CONANP en México, el Departamento de Pesca en Belice, CONAP / MARN en Guatemala y HRI-Honduras, en consulta con las partes interesadas en sus países, propusieron los siguientes sitios para ser asegurados. Los siete sitios están ubicados dentro de las áreas protegidas nacionales y fueron seleccionados porque tienen un notable valor de biodiversidad y brindan importantes servicios ambientales a las comunidades que los rodean, tales como protección costera, pesca y atracciones turísticas. El Parque Nacional Marino de las Islas de la Bahía propuso un sitio que abarca siete arrecifes distintos, ubicados en las tres islas.

Figura 1: Mapa de los sitios propuestos para ser asegurados en el Arrecife Mesoamericano. Los sitios con los números del 1 al 6 y Guanaja constituyen el sitio para el Parque Nacional Marino de las Islas de la Bahía.

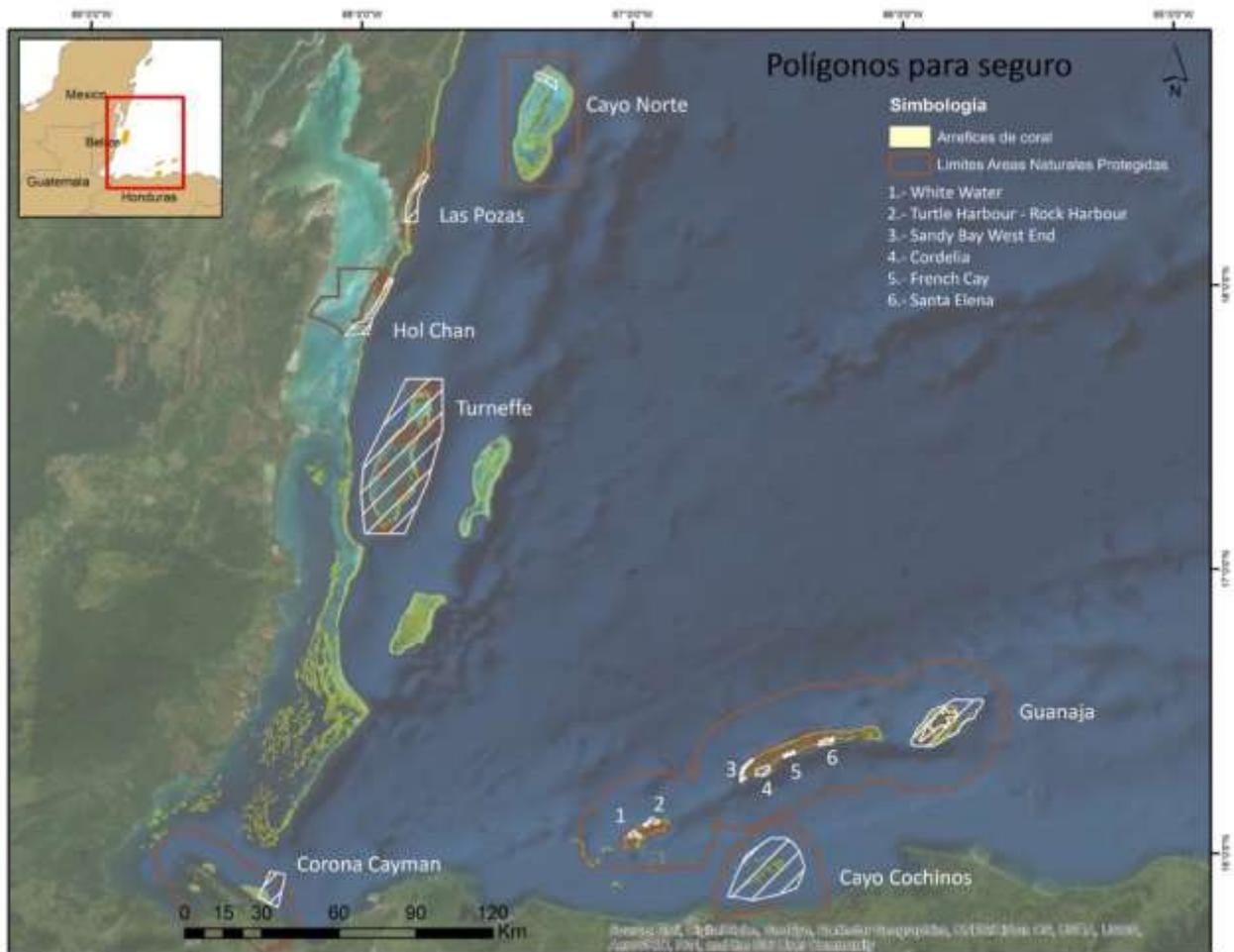


Tabla 1: Sitios a asegurar. Sitios propuestos por CONANP, Departamento de Pesca, CONAP-MARN e ICF, con el apoyo de HRI y de las partes interesadas.

| Nombre oficial de AMP | Sitio asegurado | Superficie del polígono (ha) | Superficie de coral dentro del polígono (ha)* |
|---|----------------------------------|------------------------------|---|
| México | | | |
| Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro | Cayo Norte | 2,242 | 163 |
| Parque Nacional Arrecifes de Xcalak | Las Pozas | 7,049 | 1,785 |
| Belice | | | |
| Hol Chan Marine Reserve | Hol Chan | 7,074 | 1,055 |
| Turneffe Atoll Marine Reserve | Turneffe | 131,691 | 7,071 |
| Guatemala | | | |
| Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique | Corona Caimán | 8,605 | 1,055 |
| Honduras | | | |
| Parque Marino Nacional de las Islas de la Bahía | | 31,766 | 6,691 |
| | Utila | 1,204 | 402 |
| | 1. Turtle Harbour - Rock Harbour | 813 | 314 |
| | 2. White Water | 391 | 87 |
| | Roatan | 3,819 | 741 |
| | 3. Sandy Bay West End | 941 | 297 |
| | 4. Cordelia | 1,489 | 94 |
| | 5. French Cay | 360 | 101 |
| | 6. Santa Elena | 1,028 | 249 |
| | Guanaja | 21,721 | 4,406 |
| Monumento Natural Marino Cayos Cochinos | Cayos Cochinos | 49,163 | 1,447 |

*Cobertura de coral basada en la base de datos de HRI 2013.

3.1 Cobertura de coral vivo en cada sitio

La cobertura de coral vivo es la característica del arrecife que está más correlacionada con los daños causados por el huracán al arrecife. Cuanto mayor sea la cobertura de coral vivo, más daño causará el huracán. Una mayor cobertura de coral vivo significa que hay más corales que podrían destruirse, que generalmente todavía tienen especies ramificadas que son más susceptibles a la rotura. Los sitios con una mayor cobertura de coral vivo (superior al 20%) pueden dañarse por vientos menores, por lo tanto, son mucho más vulnerables que otros arrecifes con una menor cobertura de coral (entre 5 y 19%). Además, los sitios con mayor cobertura de corales vivos también son los arrecifes más importantes para la biodiversidad, la pesca y el turismo.

Dada esta correlación, estimamos el posible daño que pueden causar los huracanes (ver siguiente sección) en función de la cobertura de coral vivo del sitio propuesto. La cobertura de coral vivo se obtuvo de la base de datos de monitoreo de Healthy Reefs Initiative (Healthy Reefs, 2019). Cada sitio tiene varios transectos y datos de monitoreo y alta variabilidad; por lo tanto, calculamos el valor promedio y los valores superior e inferior como referencia. Todos los sitios propuestos tienen condición "regular" a "muy buena", basadas en el sistema de clasificación de salud de arrecifes de HRI con base en la cobertura de corales vivos: muy malo (<5%), malo (5-10%), regular (10-20%), bueno (20-40%) y muy bueno (>40%).

Tabla 2: Características de los sitios propuestos. El porcentaje de cobertura de coral vivo basado la base de datos de HRI (Healthy Reefs, 2019), la superficie de coral basada en la base de datos 2103. La cobertura de coral vivo neto se obtuvo multiplicando el valor promedio de los transectos de monitoreo por la superficie del coral del sitio. Dirección del viento determinada en el mapa, considerando los vientos del Este como dominantes.

| Nombre del sitio asegurado | % Cobertura de Coral Vivo Sitios HRI | | | Superficie de coral (ha) Cobertura de coral 2013 | Cobertura neta de coral vivo estimada (ha) | Dirección del viento |
|---------------------------------|--------------------------------------|--------|--------|--|--|------------------------|
| | Promedio | Máximo | Mínimo | | | |
| Cayo Norte | 12.30 | 27.40 | 3.30 | 163 | 20.06 | Barlovento |
| Las Pozas | 17.70 | 23.80 | 11.30 | 1,785 | 315.87 | Barlovento |
| Hol Chan | 10.70 | 16.00 | 5.20 | 1,055 | 112.86 | Barlovento |
| Turneffe | 16.80 | 35.80 | 6.30 | 7,071 | 1,187.95 | Barlovento |
| Corona Caimán | 44.00 | 58.50 | 30.80 | 1,055 | 464.12 | Barlovento |
| Utila | 18.85 | 18.85 | 18.85 | 402 | 75.70 | Barlovento / Sotavento |
| • Turtle Harbour - Rock Harbour | 20.60 | 20.60 | 20.60 | 314 | 64.77 | Barlovento |
| • White Water | 17.10 | 17.10 | 17.10 | 87 | 14.91 | Sotavento |
| Roatan | 30.28 | 36.95 | 22.38 | 741 | 224.37 | Barlovento / Sotavento |
| • Cordelia | 41.00 | 63.30 | 13.70 | 94 | 38.47 | Sotavento |
| • French Cay | 38.30 | 38.30 | 38.30 | 101 | 38.69 | Sotavento |
| • Sandy Bay West End | 24.60 | 29.00 | 20.30 | 297 | 73.00 | Barlovento |
| • Santa Elena | 17.20 | 17.20 | 17.20 | 249 | 42.91 | Sotavento |
| Guanaja | 19.30 | 40.90 | 7.30 | 4,406 | 850.36 | Barlovento / Sotavento |
| Cayos Cochinos | 16.10 | 29.00 | 7.80 | 1,447 | 232.98 | Barlovento |

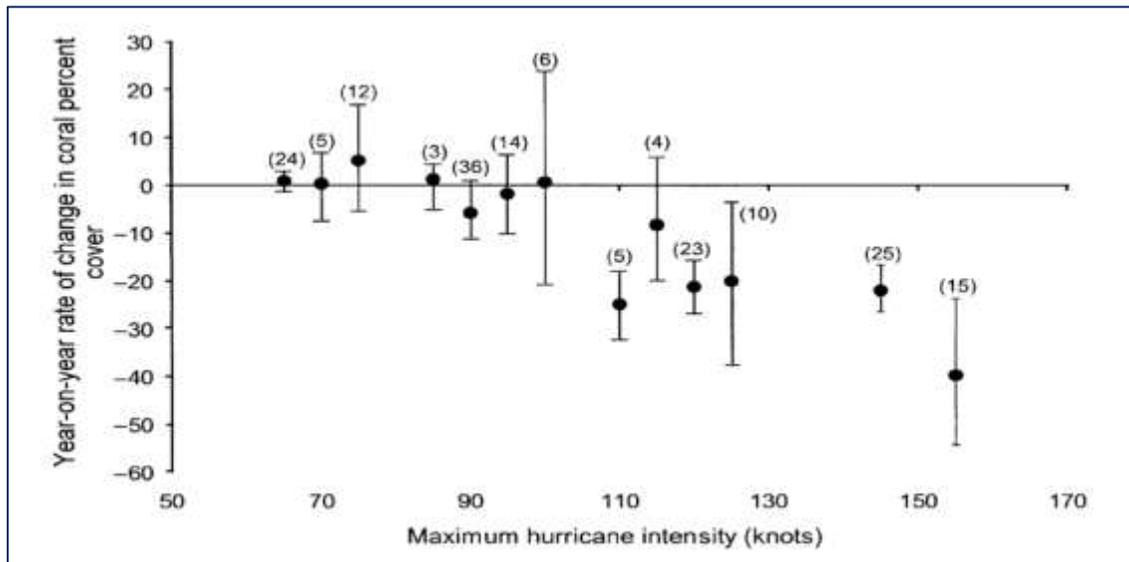
Tabla 3: Número de transectos de monitoreo de HRI en cada sitio propuesto se usan para estimar la cobertura de coral vivo.

| Nombre del sitio asegurado | Nombre del sitio propuesto | Sitios de monitoreo |
|-----------------------------|-------------------------------|---------------------|
| Banco Chinchorro | Cabo Norte | 4 |
| Xcalak | Las Pozas | 7 |
| Hol Chan | Hol Chan | 6 |
| Turneffe | Turneffe | 26 |
| Punta de Manabique | Corona Caimán | 4 |
| Islas de la Bahía - Utila | Turtle Harbour - Rock Harbour | 1 |
| Islas de la Bahía - Utila | Utila | 6 |
| Islas de la Bahía - Utila | White Water | 1 |
| Islas de la Bahía - Roatan | Cordelia | 6 |
| Islas de la Bahía - Roatan | French Cay | 1 |
| Islas de la Bahía - Roatan | Sandy Bay West End | 6 |
| Islas de la Bahía - Roatan | Santa Elena | 1 |
| Islas de la Bahía - Guanaja | Guanaja | 16 |
| Cayo Cochinos | Cayo Cochinos | 11 |
| Total | Total | 96 |

4 Definiendo los parámetros para el seguro.

Un análisis realizado por Gardner et al. (2005) muestra una correlación robusta entre la velocidad máxima del viento y los daños a la cobertura de coral vivo (ver figura 1). Este análisis abarcó 200 sitios y datos recolectados por 20 años. La publicación no indica si analizaron otra característica del huracán, como presión barométrica, marejada ciclónica, distancia del arrecife, etc., o bien otra característica del arrecife.

Figura 2: La intensidad máxima del huracán o los vientos máximos sostenidos están altamente correlacionados con los daños a la cobertura de coral vivo en el arrecife impactado (Gardner et al., 2005).



Los interesados en el diseño del seguro paramétrico se preguntaron si había correlación de los daños con lluvia, duración de la tormenta, profundidad a la que se encuentra el arrecife, entre otros. Por lo tanto, considerando las limitaciones del análisis de Gardner et al., MARFund, TNC y UNAM-ICMYL realizaron un nuevo análisis para evaluar un rango más amplio de variables. Pérez et al. (2019) realizó dicho análisis que abarca 343 sitios a lo largo de la cuenca del Caribe con datos de los últimos 44 años. Dada la amplitud de variables, Pérez et al. (2019) utilizaron un modelo mixto lineal para evaluar la correlación de las principales variables o la combinación de variables que parecían estar más correlacionadas en el análisis exploratorio (ver tabla 4). Evaluaron las variables con un tamaño de muestra significativo, pues no todos los sitios tienen datos para todas las variables.

El análisis identificó tres variables altamente correlacionadas con daños a los arrecifes:

1. La cobertura de coral vivo (CCV) del sitio antes del impacto es la característica del arrecife más correlacionada con los daños a los arrecifes.
2. Velocidad del viento al impacto/cobertura de coral vivo inicial, es la característica del huracán/arrecife que más se correlaciona con los daños a los arrecifes.
3. Exposición de los sitios a barlovento.

Una variable bien conocida mostró menos correlación. Sin embargo, se incluye en este proceso, ya que es la variable más utilizada en los planes de seguro paramétricos:

4. Velocidad máxima del viento.

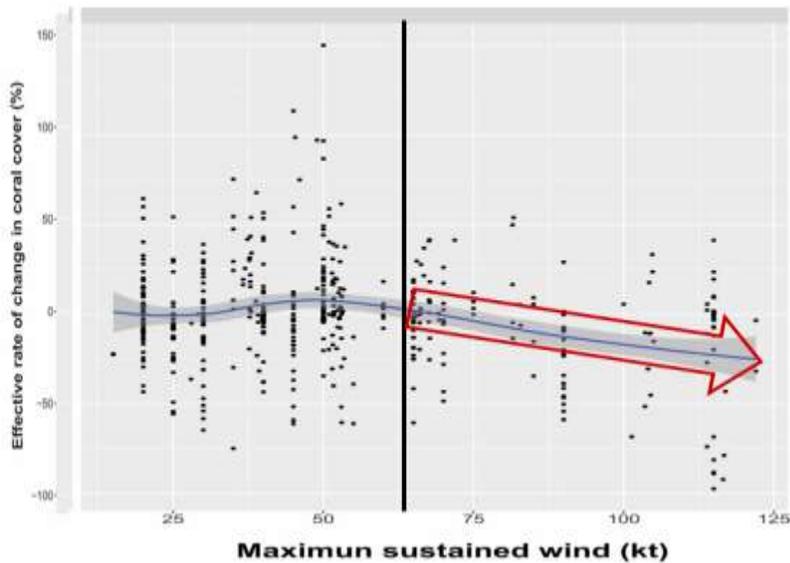
Tabla 4: Correlación de variables (Pérez et al., 2019). El valor P indica la correlación y cuanto menor es el valor P, mayor es la correlación. Nota: Variable = intercepto, valor: b, Std. Error: error estándar, GL: grados de libertad, t-valor, p-valor.

| Variable (intercepto) | Value | Error Std. | GL | t-valor | p-valor |
|---|-------|------------|--------|---------|---------------|
| Cobertura de coral inicial % | -0.02 | 0.01 | 298.00 | -3.90 | 0.0001 |
| Velocidad máxima del viento al impacto kt cat. C: Cobertura de coral inicial % | -0.02 | 0.01 | 298.00 | -2.67 | 0.008 |
| Exposición a barlovento | 0.17 | 0.07 | 298.00 | 2.59 | 0.0101 |
| Exposición media | 0.21 | 0.15 | 298.00 | 1.43 | 0.1528 |
| Número de "snapshot" del huracán que impactan un sitio | 0.03 | 0.02 | 298.00 | 1.23 | 0.2213 |
| Exposición media: alcance medio km | 0.00 | 0.00 | 298.00 | -1.15 | 0.2526 |
| Exposición a barlovento: alcance medio km | 0.00 | 0.00 | 298.00 | -1.02 | 0.3078 |
| Alcance medio km | 0.00 | 0.00 | 298.00 | 0.98 | 0.3257 |
| Muestra de diferencia salida final del huracán dayskt cat.L | -0.26 | 0.26 | 298.00 | -0.98 | 0.3261 |
| Velocidad máxima del viento al impacto kt cat. Q | -0.11 | 0.18 | 298.00 | -0.62 | 0.5372 |
| Velocidad máxima del viento al impacto kt cat. C | -0.05 | 0.10 | 298.00 | -0.51 | 0.6071 |
| Presión central mb | 0.00 | 0.01 | 298.00 | -0.43 | 0.6643 |
| (Intercepto) | 3.73 | 8.94 | 298.00 | 0.42 | 0.677 |
| Viento máximo sostenido kt | 0.00 | 0.01 | 298.00 | -0.40 | 0.6865 |

4.1 La velocidad máxima sostenida del viento por encima de 60 nudos se correlaciona con daños a los arrecifes

La velocidad máxima sostenida del viento es ampliamente utilizada en seguros paramétricos. El gráfico muestra una correlación con los daños, particularmente por encima de 60 nudos, que muestra que los vientos con más velocidad causan más daños, confirmando los resultados de Gardner et al., (2019). Sin embargo, existe una amplia variabilidad en los daños a los arrecifes mostrados por la dispersión de datos. Entre las variables evaluadas, la velocidad del viento es una de las variables menos correlacionadas.

Figura 3: Relación de la velocidad de viento máxima de un huracán y la pérdida de cobertura de coral.



4.2 La velocidad del viento al impacto por encima de 64 nudos causa un daño significativo.

La velocidad del viento al impacto es una categoría de velocidad del viento sobre el arrecife impactado. Se calculó utilizando el reporte de las distancias entre el ojo del huracán y el umbral donde ocurre la velocidad del viento de 64, 50 y 32 nudos (ver figura 2) para cada huracán (base de datos de NOAA: HURDAD2 (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica <https://www.nhc.noaa.gov/data/>)). Se crearon cuatro categorías de velocidad del viento al impacto (<34 nudos, 34-50 nudos, 50-64 nudos y >64 nudos). El valor asignado al arrecife correspondió a la ubicación entre los límites informados por NOAA.

Los resultados indican que los daños a los arrecifes aumentan significativamente con vientos superiores a 64 nudos. Sin embargo, los datos muestran que los daños pueden variar significativamente ya que existe una amplia dispersión. Tenga en cuenta también que los sitios afectados por vientos >64 nudos son escasos en comparación con los sitios en otras categorías de velocidad del viento.

Figura 4: Circunferencias estimadas usando la distancia promedio desde el centro de los huracanes hasta el límite en el que se produce la velocidad del viento de 32, 50 y 64 nudos, reportado en HURDAD2 (NOAA). La distancia se representó como círculos, aunque las huellas de los huracanes son elipses.

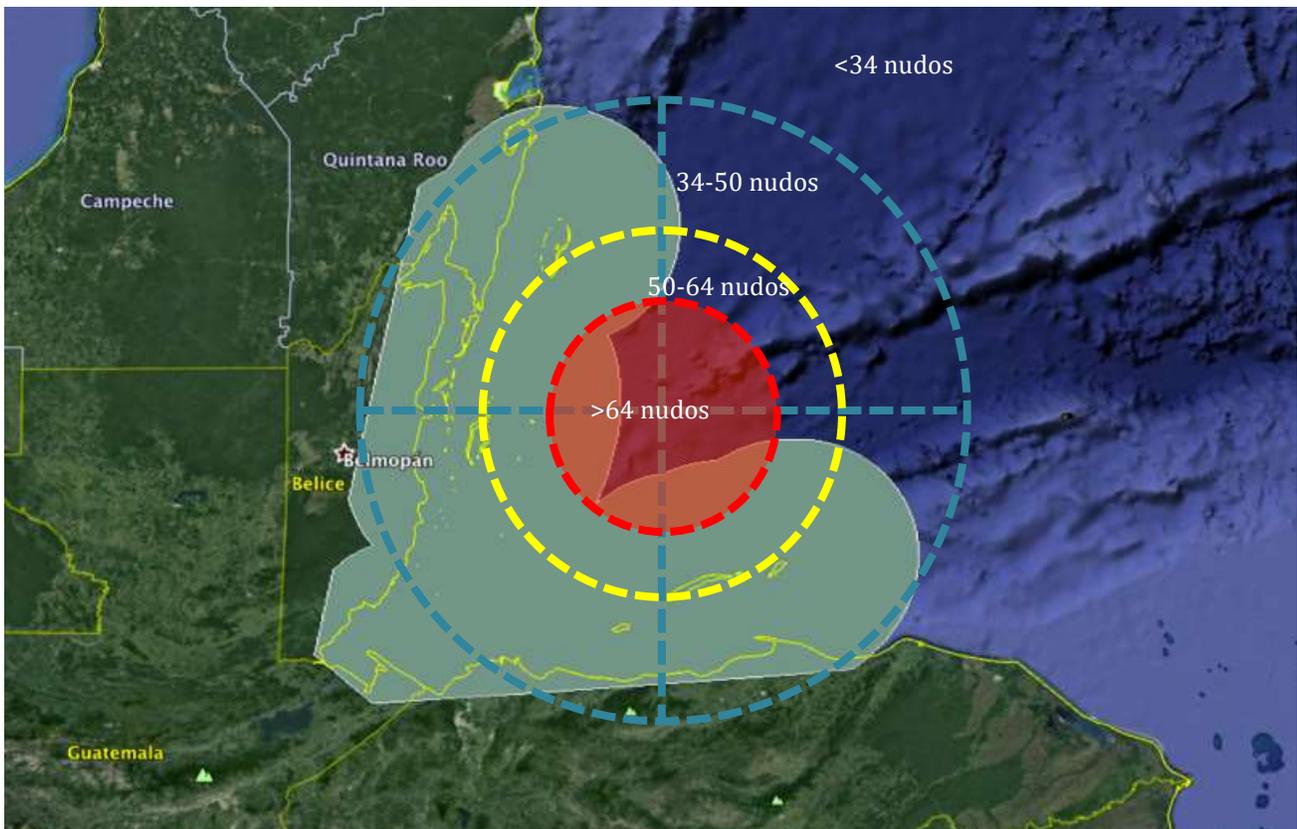
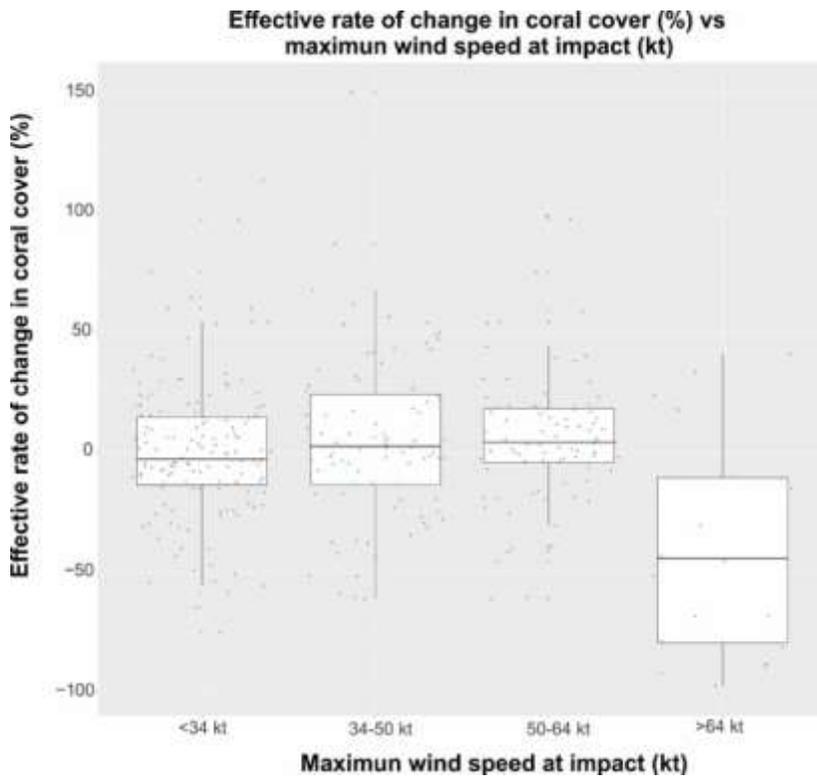


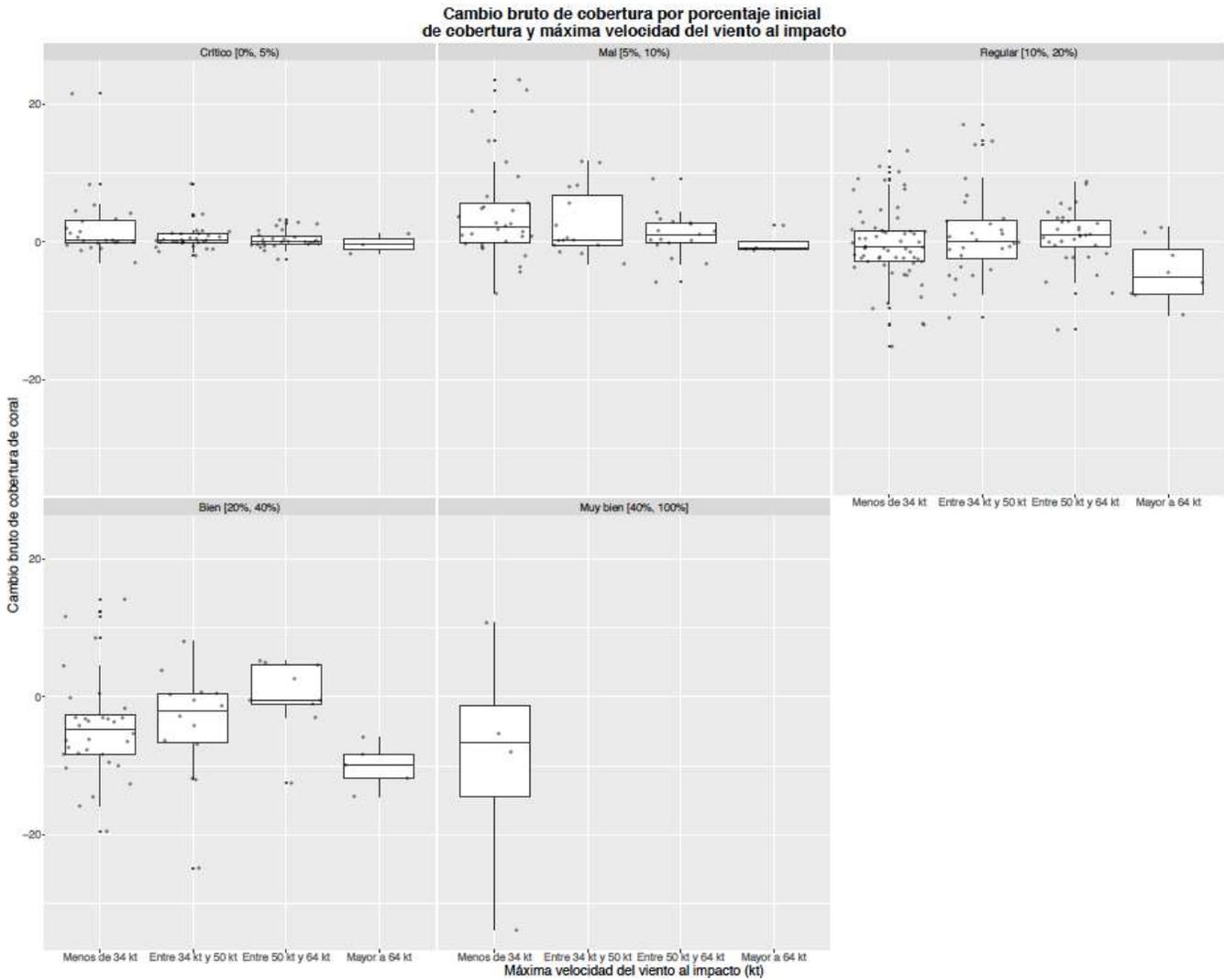
Figura 5: El gráfico muestra la pérdida efectiva de la cobertura de coral según la categoría del viento al impacto.



4.3 Los arrecifes con mayor cobertura de coral sufrirán más daños que los arrecifes con poca cobertura de coral

La combinación de la velocidad del viento al impacto y la cobertura de coral vivo antes del evento tiene una correlación más sólida. Estos gráficos muestran la pérdida de la cobertura de coral vivo (pérdida neta) causada por cuatro categorías de velocidad del viento al impacto, dependiendo de la cobertura de coral vivo antes de la tormenta. Los arrecifes con más cobertura de coral sufrirán mucho más daño que los arrecifes con poca cobertura de coral. Por ejemplo, los sitios con una cobertura de coral crítica (0-5%) y mala (5-10%) sufrirán daños que van del 0 al 2% de la cobertura neta de coral vivo. Mientras tanto, los sitios con buena cobertura de coral (20-40%) sufren graves pérdidas netas de cobertura de coral vivo, entre 8-13%, ambos con una velocidad del viento superior a 64 nudos. El impacto en sitios con excelentes condiciones (+40%) es aún más catastrófico, ya que el estudio muestra que han sufrido una pérdida del 5 al 17% de la cobertura neta de coral vivo con una velocidad del viento inferior a 34 nudos. Tenga en cuenta que no hay datos para los sitios afectados por la velocidad del viento por encima de 64 nudos.

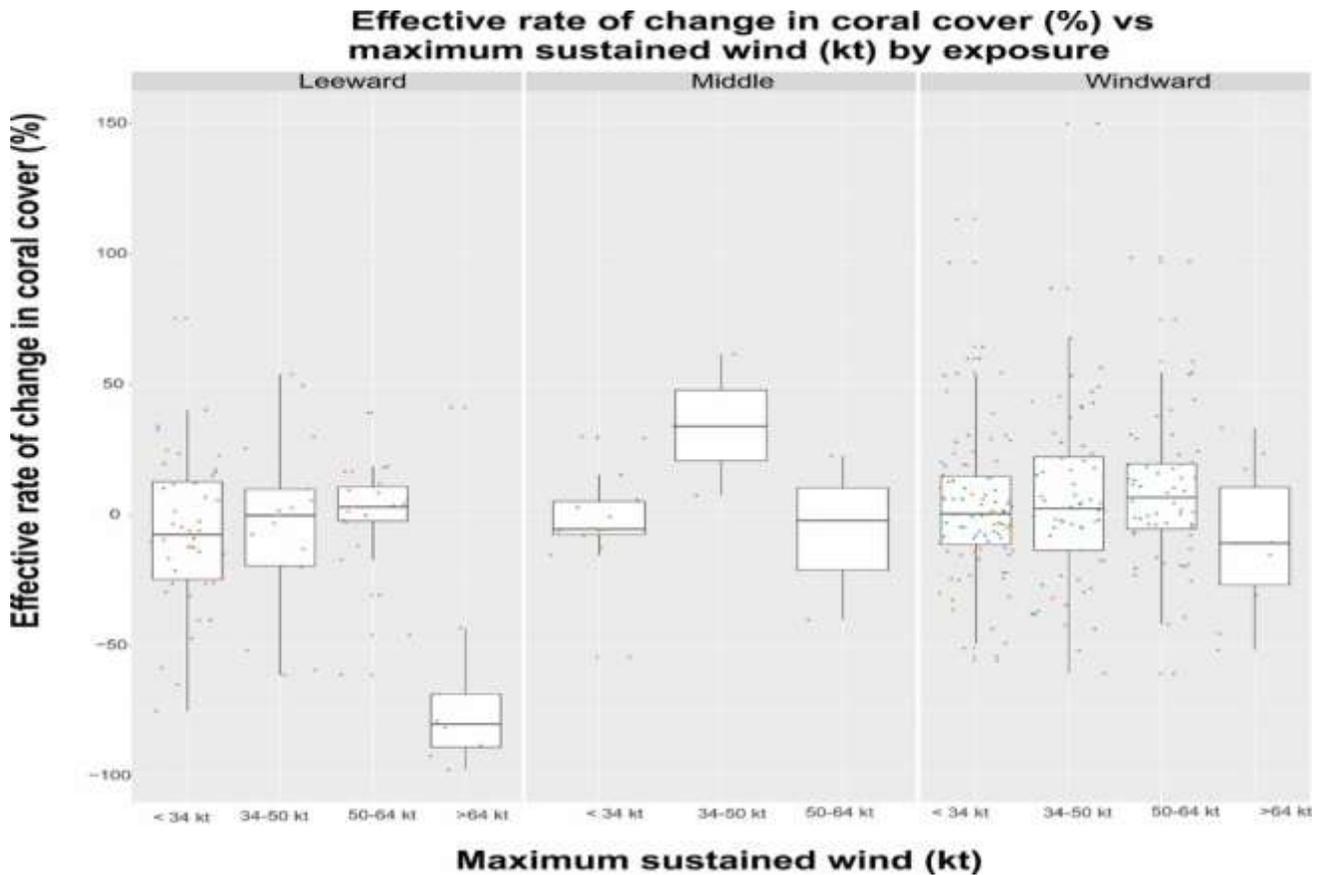
Figura 6. Cambios en la cobertura neta de coral vivo dependiendo de la cobertura de coral vivo antes del impacto de una tormenta y según las categorías de velocidad del viento al impacto. Pérez et al. (2019) utilizaron clasificaciones de HRI para clasificar la cobertura de coral vivo: condición crítica (0-5%), pobre (5-10%), regular (10-20%), buena (20-40%) y muy buena (arriba de 40%). La velocidad del viento en el impacto se clasificó utilizando los datos de NOAA de límites de velocidad del viento de 32, 50 y 64 nudos reportados en HURDAD2.



4.4 Los arrecifes ubicados a sotavento son más propensos a sufrir daños que los ubicados a barlovento

La ubicación relacionada con la dirección del viento está correlacionada con los daños causados por un huracán. Una ubicación a sotavento sufrirá más daños que una ubicación a barlovento. Los arrecifes de barlovento están expuestos directamente a los vientos dominantes entrantes. Los arrecifes de sotavento se encuentran en dirección opuesta a los vientos dominantes. Sin embargo, tenga en cuenta que los vientos de los huracanes tienen un movimiento circular, por lo tanto, los vientos que impactan en un arrecife pueden venir en diferentes direcciones dependiendo de la trayectoria del huracán y cambiarán a lo largo del movimiento de la tormenta.

Figura 7: Cambios en la tasa efectiva de coral vivo dependiendo de la exposición a la dirección dominante del viento.



Las conclusiones relevantes para la selección del parámetro y el umbral son:

1. La velocidad máxima sostenida del viento aumenta los daños por encima de 60 nudos.
2. La velocidad del viento al impacto por encima de 64 nudos causa daños a los arrecifes significativamente mayores que los vientos menores.
3. La velocidad del viento al impacto y la cobertura de coral vivo es la combinación de variables más correlacionada con los daños a los arrecifes.
4. La velocidad del viento al impacto por encima de 64 nudos causa un daño significativamente mayor al arrecife con una cobertura de coral vivo superior al 20%.
5. Los arrecifes con 40% de coral vivo o más son más vulnerables que otros con menos cobertura de coral, ya que son severamente dañados (pérdida de 5 a 17%) con velocidades del viento al impacto por debajo de 34 nudos.
6. Los arrecifes ubicados a sotavento tienden a sufrir más daños que los arrecifes ubicados a barlovento (vientos dominantes, no vientos huracanados) cuando se ven afectados por vientos superiores a 64 nudos.

4.5 Estimación de la pérdida de cobertura de coral vivo

Estimamos la potencial pérdida neta de coral vivo causada por la velocidad del viento al impacto en función de la cobertura inicial de coral vivo y el promedio de daños históricos causados por dicha velocidad del viento al impacto.

- **Primero**, creamos una tabla con el promedio de las pérdidas históricas de coral vivo por categoría de condición según el índice de HRI (ver tabla 5) con los datos de Pérez et al. (2019).
- **Segundo**, ajustamos el % de la pérdida potencial de cobertura de coral vivo para cada sitio, ajustándola a la cobertura coral vivo reportada (ver tabla 6).

Asumimos que la pérdida promedio (PP) corresponde al valor medio de la cubierta de coral vivo (VM). La pérdida de un sitio (PS) sería proporcional a la cubierta de coral vivo del sitio (CCVS). Utilizamos esta fórmula:

$$\text{Pérdida del sitio} = (\text{Pérdida promedio} \times \text{Cobertura de coral vivo del sitio}) / \text{Valor medio}$$

Ejemplo de Cayo Norte. Cobertura de coral vivo en Cayo Norte: 12.3%
 Pérdida promedio para sitios en buenas condiciones (10-20%) = 1.8%
 Valor medio del rango: 15%
 Pérdida neta potencial: 1.48%
 $1.8\% (\text{pérdida promedio}) \times 12.3\% (\text{cobertura de coral vivo del sitio}) / 15\% (\text{valor medio}) = 1.48\%$

- **Tercero**, estimamos el área de coral vivo (hectáreas) que podría perderse multiplicando el área de cobertura de coral vivo en el sitio por la pérdida neta potencial ajustada (PS) (ver tabla 7).

Tabla 5: pérdida neta histórica promedio de la cobertura de coral vivo clasificada según la condición del arrecife y la velocidad del viento al impacto (Pérez et al., 2019). n.d. significa que no hay datos para esa condición de arrecife. Cero significa que la pérdida promedio es cero.

| Índice HRI | <34 nudos | 34-50 nudos | 50-64 nudos | >64 nudos |
|------------------|-----------|-------------|-------------|------------|
| Justa (10-20%) | 1.8 | 0 | 0 | 6 |
| Buena (20-40%) | 4 | 3 | 1 | 10 |
| Muy buena (+40%) | 7 | n.d. | n.d. | n.d. (10)* |

*Asignamos la pérdida promedio del 10% para arrecifes con condición “buena” para los arrecifes con “muy buena” ya que son necesarios todos los valores superiores a 64 nudos.

Tabla 6: Pérdida neta potencial ajustada de la cobertura de coral vivo. Los sitios marcados en naranja claro son aquellos con la mayor pérdida neta.

| Nombre del sitio asegurado | % de cobertura de coral vivo | <34 nudos | 34-50 nudos | 50-64 nudos | >64 nudos |
|---------------------------------|------------------------------|-----------|-------------|-------------|-----------|
| Cayo Norte | 12.3 | 1.48 | 0.00 | 0.00 | 4.92 |
| Las Pozas | 17.7 | 2.12 | 0.00 | 0.00 | 7.08 |
| Hol Chan | 10.7 | 1.28 | 0.00 | 0.00 | 4.28 |
| Turneffe | 16.8 | 2.02 | 0.00 | 0.00 | 6.72 |
| Corona Caimán | 44.0 | 7.70 | 2.75 | 0.55 | 11.00 |
| Utila | 18.5 | 2.60 | 1.34 | 0.27 | 6.85 |
| • Turtle Harbour - Rock Harbour | | 2.75 | 1.72 | 0.34 | 6.87 |
| • White Water | | 2.05 | 0.00 | 0.00 | 6.84 |
| Roatan | 30.28 | 4.93 | 2.40 | 0.48 | 9.52 |
| • Cordelia | | 7.18 | 2.56 | 0.51 | 10.25 |
| • French Cay | | 5.11 | 3.19 | 0.64 | 12.77 |
| • Sandy Bay West End | | 6.56 | 4.10 | 0.82 | 8.20 |
| • Santa Elena | | 2.06 | 0.00 | 0.00 | 6.88 |
| Guanaja | 19.3 | 2.32 | 0.00 | 0.00 | 7.72 |
| Cayos Cochinos | 16.1 | 1.93 | 0.00 | 0.00 | 6.44 |

Como se indicó anteriormente, estimamos el área de coral vivo perdido al multiplicar el % de la pérdida neta potencial por el área de cobertura de coral vivo calculada para el sitio (ver tabla 5). El área perdida es el resultado de la gravedad de los daños y la extensión de la cubierta de coral. Turneffe y Guanaja son los sitios con áreas dañadas más grandes, ya que son los sitios más grandes. La pérdida potencial en hectáreas se utiliza para estimar el nivel de esfuerzo y los costos necesarios para implementar una reparación. El área también hace explícito el alcance del posible daño causado por los huracanes.

Tabla 7: Pérdida estimada de cobertura de coral vivo en hectáreas por sitio (cobertura de coral vivo neto multiplicado por pérdida ajustada).

| Sitio asegurado | Cobertura neta estimada de coral vivo (ha) | Pérdida potencial de cobertura de coral vivo causado por la velocidad del viento al impacto (ha) | | | | Pérdida -% de la cobertura original |
|-------------------------------|--|--|-------------|-------------|---------------|-------------------------------------|
| | | <34 nudos | 34-50 nudos | 50-64 nudos | >64 nudos | % |
| Cayo Norte | 20.06 | 2.41 | 0.00 | 0.00 | 8.02 | 40 |
| Las Pozas | 315.87 | 37.90 | 0.00 | 0.00 | 126.35 | 40 |
| Hol Chan | 112.86 | 13.54 | 0.00 | 0.00 | 45.15 | 40 |
| Turneffe | 1,187.95 | 142.55 | 0.00 | 0.00 | 475.18 | 40 |
| Corona Caimán | 464.12 | 81.22 | 29.01 | 5.80 | 116.03 | 25 |
| Utila | 75.70 | 10.42 | 5.40 | 1.08 | 27.55 | 36 |
| Turtle Harbour - Rock Harbour | 64.77 | 8.64 | 5.40 | 1.08 | 21.59 | 33 |
| White Water | 14.91 | 1.79 | 0.00 | 0.00 | 5.96 | 40 |
| Roatan | 224.37 | 36.51 | 17.80 | 3.56 | 64.01 | 29 |
| Cordelia | 38.47 | 6.73 | 2.40 | 0.48 | 9.62 | 25 |
| French Cay | 38.69 | 5.16 | 3.22 | 0.64 | 12.90 | 33 |
| Sandy Bay West End | 73.00 | 19.47 | 12.17 | 2.43 | 24.33 | 33 |
| Santa Elena | 42.91 | 5.15 | 0.00 | 0.00 | 17.17 | 40 |
| Guanaja | 850.36 | 102.04 | 0.00 | 0.00 | 340.14 | 40 |
| Cayos Cochinos | 232.98 | 27.96 | 0.00 | 0.00 | 93.19 | 40 |

5 Estimación del costo de reparar el arrecife

Whiterock (2019), en virtud de un contrato con MARFund y con asistencia técnica de TNC, desarrolló una herramienta para estimar el costo de reparar el arrecife y restaurar la cobertura de coral vivo hasta cierto punto. La herramienta detalla todos los gastos (botes, buzos, tanques, alimentos, materiales) necesarios para reparar un área cubierta por 3 brigadas. El costo de reparar dicha área se ajusta para poder cubrir el área que será dañada estimada en cada sitio.

En la mayoría de los casos, el costo de reparar y restaurar toda el área dañada está muy por encima de los niveles actuales de gasto en conservación de arrecifes. El alcance de la reparación dependerá de los fondos disponibles y el alcance de la intervención de acuerdo con los objetivos de los administradores del arrecife. Por lo tanto, los costos también se expresan en tres niveles de intervención, que muestran los costos para reparar el 25%, 50% o 100% del área dañada.

Además de los fondos, otra limitación para implementar acciones de reparación es la capacidad local existente para llevarlos a cabo. Por lo tanto, también estimamos los costos de movilizar la capacidad que estaría en su lugar para 2020, que consiste en tres brigadas (cada una de 10 miembros) durante 60 días después de la tormenta por sitio. También calculamos tres niveles de intervención, con 25%, 50% y 100% para dicho esfuerzo.

La estimación del costo de reparación sigue las fases definidas en el Protocolo post tormenta. Esas fases de intervención son:

1. Respuesta inmediata:
 - a. Evaluación rápida de daños: 2-5 días para evaluar los daños, visitar sitios prioritarios, identificar daños mayores y planificar una respuesta
 - b. Respuesta primaria: limpieza de escombros, fijación de grandes fragmentos y estabilización de colonias de corales.
 - c. Respuesta secundaria: recolectar fragmentos más pequeños y establecer en viveros para una futura colonización. Además, reparación de daños estructurales.
 - d. Evaluación de la respuesta post tormenta: fase para evaluar los daños remanentes en los arrecifes, los resultados de la respuesta primaria y secundaria, y el desarrollo de un plan de restauración para los próximos 2-5 años para apoyar la recuperación del arrecife.

Reparación a medio plazo: implementación del plan de restauración.

Tabla 8: Costo proyectado de respuesta inmediata basado en el área afectada.

| Sitio | Pérdida proyectada del área de cobertura de coral vivo (ha) por encima de 64 nudos | Costo de la respuesta en USD – 25% | Costo de la respuesta en USD – 100% |
|-----------------------|--|------------------------------------|-------------------------------------|
| C. Norte - Chinchorro | 8.02 | 53,792 | 156,830 |
| Las Pozas Xcalak | 126.35 | 310,725 | 1,174,609 |
| Hol-Chan | 45.15 | 224,174 | 779,307 |
| Turneffe | 475.18 | 1,085,474 | 3,999,051 |
| Corona caimán PM | 116.03 | 216,204 | 774,841 |
| Utila | 27.55 | 98,220 | 302,579 |
| Roatán | 64.01 | 213,215 | 755,288 |
| Guanaja | 340.14 | 833,559 | 3,132,258 |
| Cayos Cochinos | 93.19 | 212,426 | 734,559 |
| Total | 3,484 | 3,247,790 | 11,809,322 |

Figura 5. Costo proyectado de respuesta inmediata basado en el área afectada.

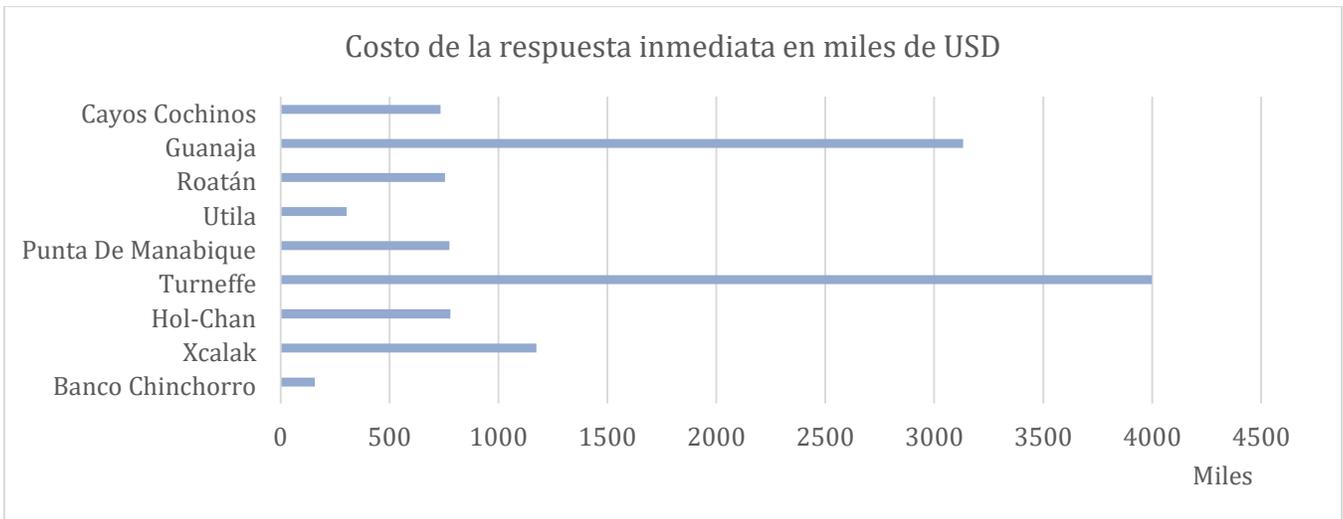
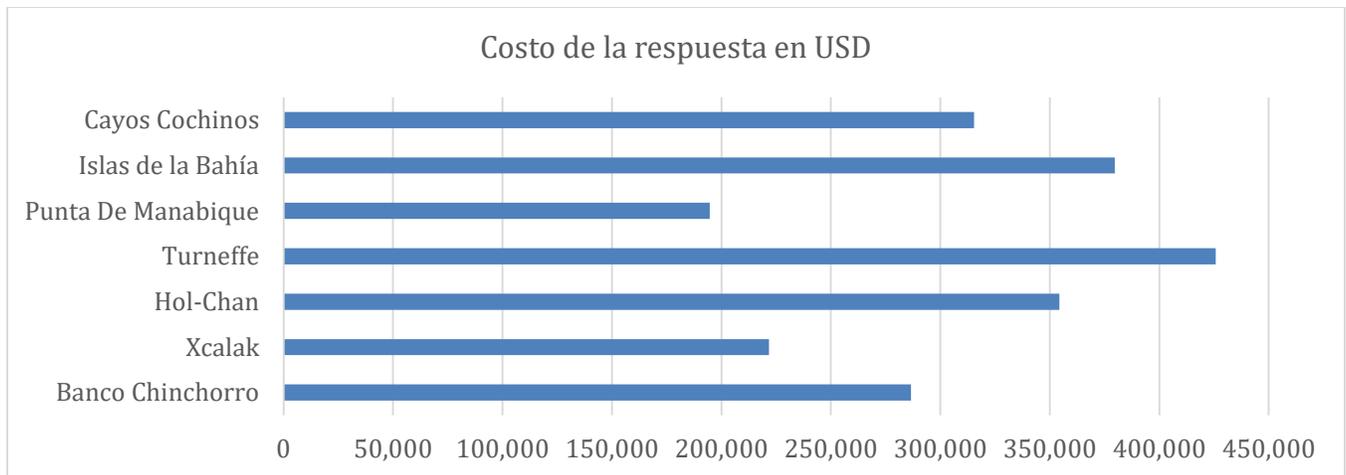


Tabla 9: Costo proyectado de respuesta inmediata basado en 3 brigadas (30 brigadistas) por sitio trabajando 60 días después de la tormenta.

| Sitio | Pérdida de la cobertura de coral vivo por encima de 64 nudos (ha) | Costo de intervención en USD – 25% | Costo de intervención en USD – 100% |
|--------------------|---|------------------------------------|-------------------------------------|
| Banco Chinchorro | 8.02 | 91,016 | 286,602 |
| Xcalak | 126.35 | 69,474 | 221,778 |
| Hol-Chan | 45.15 | 118,295 | 354,313 |
| Turneffe | 475.18 | 142,125 | 425,742 |
| Punta De Manabique | 116.03 | 71,920 | 194,650 |
| Utila | 27.52 | 122,009 | 379,668 |
| Roatán | 70.58 | | |
| Guanaja | 340.14 | | |
| Cayos Cochinos | 93.19 | 105,557 | 315,464 |
| Total | 1,302 | 964,413 | 2,937,553 |

figura 6: Costo proyectado de respuesta inmediata basado en 3 brigadas (30 brigadistas) por sitio trabajando 60 días después de la tormenta.



6 Enfoque para definir escenarios de polígonos de seguros

Desarrollamos distintos escenarios de polígonos basados en las principales conclusiones de cómo los huracanes dañan los arrecifes. Las partes interesadas y los compradores pueden comparar las ventajas y desventajas de estos escenarios para decidir el producto que mejor se adapte a sus necesidades y presupuesto.

Principales conclusiones del análisis de Pérez et al. (2019):

1. La velocidad máxima sostenida del viento aumenta los daños por encima de 60 nudos. De acuerdo con Gardner et al. (2005), la velocidad del viento por encima de 110 nudos daña severamente la cobertura de coral.
2. La velocidad del viento al impacto por encima de 64 nudos causa daños significativamente mayores a los arrecifes que los vientos menores.
3. La velocidad del viento al impacto y la cubierta de coral vivo es la combinación de variables más correlacionada.
4. La velocidad del viento en el impacto por encima de 64 nudos causa un daño significativamente mayor a arrecifes con una cobertura de coral vivo superior al 20%.
5. Los arrecifes con 40% de coral vivo o más son más vulnerables que otros con menos cobertura de coral, ya que están severamente dañados (pérdida de 5 a 17%) con velocidades del viento en el impacto por debajo de 34 nudos.
6. Arrecifes ubicados a sotavento tienden a sufrir más daños que los arrecifes ubicados a barlovento (vientos dominantes, no vientos huracanados) cuando se ven afectados por vientos superiores a 64 nudos.

Para abordar estas conclusiones, propusimos las siguientes opciones:

1. Una serie de polígonos limitados al sitio asegurado y usando 64 nudos como detonante. Para los arrecifes con corales vivos superiores al 40%, el detonante propuesto es de 50 nudos.
2. Polígonos que usan un buffer alrededor de los sitios de interés considerando una distancia desde el ojo del huracán y la zona donde ocurren los 64 nudos. El parámetro sería la velocidad máxima del viento y el detonante 105 nudos. Este enfoque se utilizó en el seguro del caribe mexicano.
3. Asignar un valor más bajo del parámetro para Cordelia y French Cay (en Roatán, Islas de la Bahía) y Corona Caimán, ya que tienen una cobertura de coral vivo superior al 40%.

Figura 7: Relación entre la velocidad máxima del viento del huracán con daños a la cobertura de coral vivo (Gardner et. al., 2005).

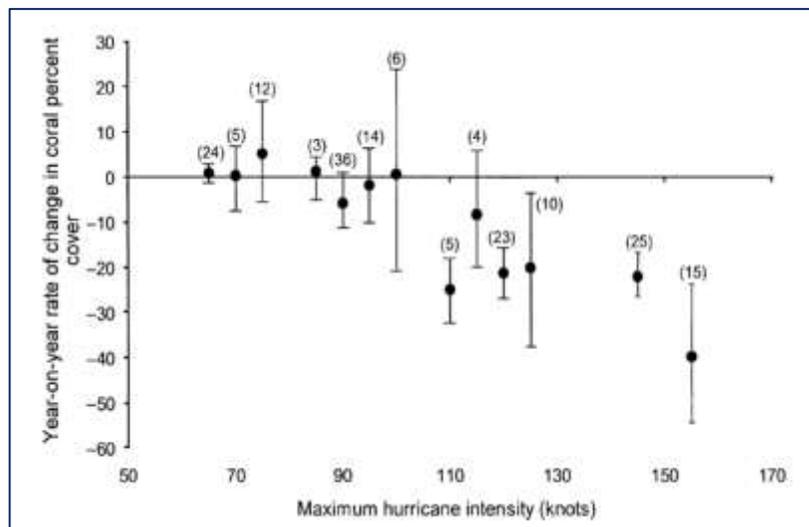
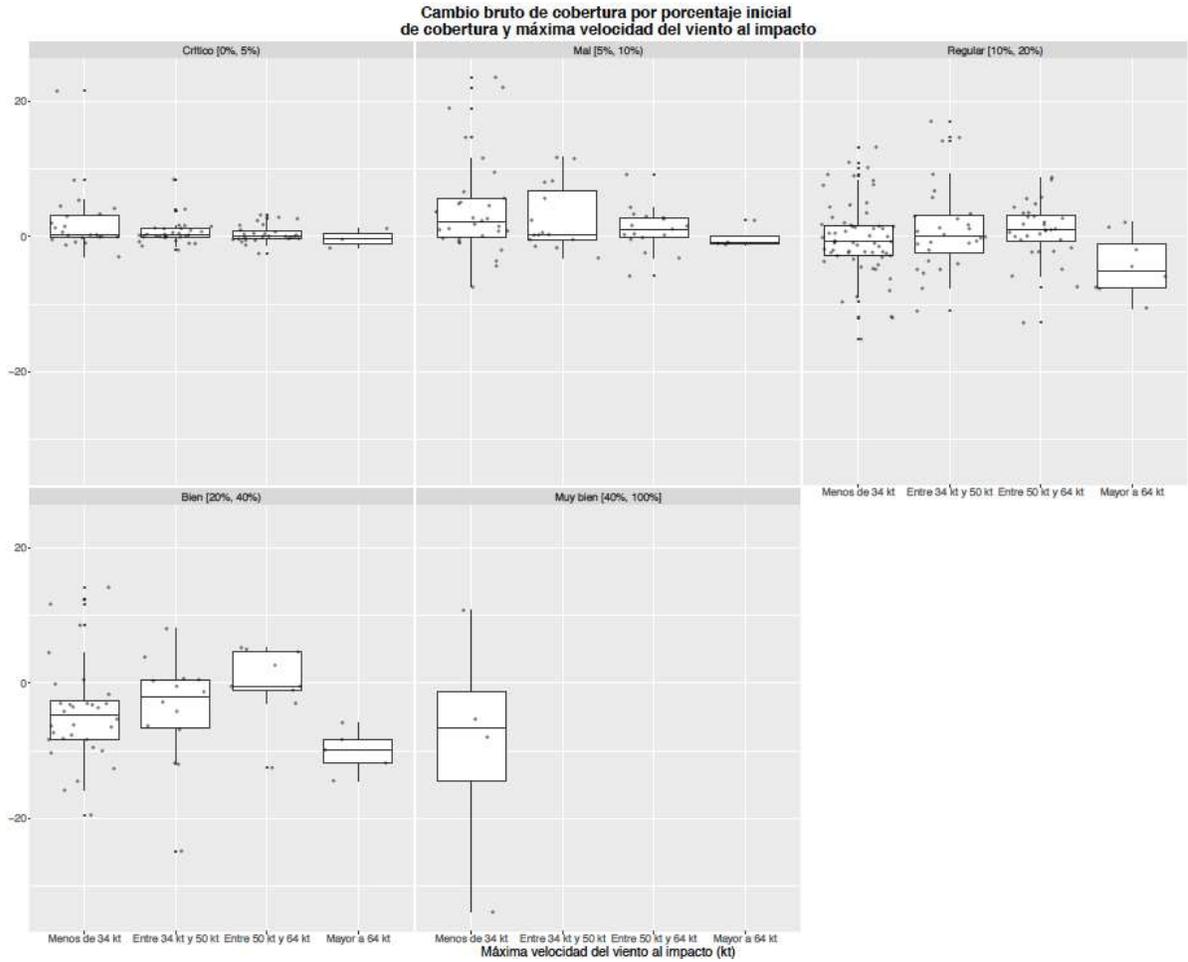


Figura 8: Relación entre la velocidad del viento al impacto de un huracán con daños a la cobertura de coral vivo (Pérez et al., 2019).



Para estimar el tamaño de los polígonos alrededor de los arrecifes seleccionados a los que la velocidad máxima del viento en el ojo del huracán podría afectar el arrecife, utilizamos la distancia desde el centro del huracán hasta el límite de 64 nudos. Calculamos las distancias promedio desde el ojo de un huracán hasta las velocidades del viento reportadas (34, 50 y 64 nudos) utilizando los datos publicados por NOAA para huracanes entre 2004 y 2017. La forma de los huracanes es elíptica, por lo tanto, la distancia al Noreste (NE) (49 mn) y Noroeste (NO) (46mn) son más grandes que la distancia Sureste (SE) (41.7mn) y mucho más grandes que la distancia Suroeste (SO) (30.3mn). Los arrecifes en el Arrecife Mesoamericano se verán afectados principalmente por los vientos NO (46) y SO (30) desde el centro del huracán, por lo tanto, propusimos un buffer de 45 mn. Este buffer reduce el riesgo de sufrir daños y no desencadenar un pago.

Figura 9: Mapas que muestran la extensión de un huracán con base en la distancia promedio de las velocidades del viento de 64, 50 y 32 nudos al ojo del huracán. Los círculos muestran distancias de 35, 70 y 126 millas náuticas desde el ojo del huracán.

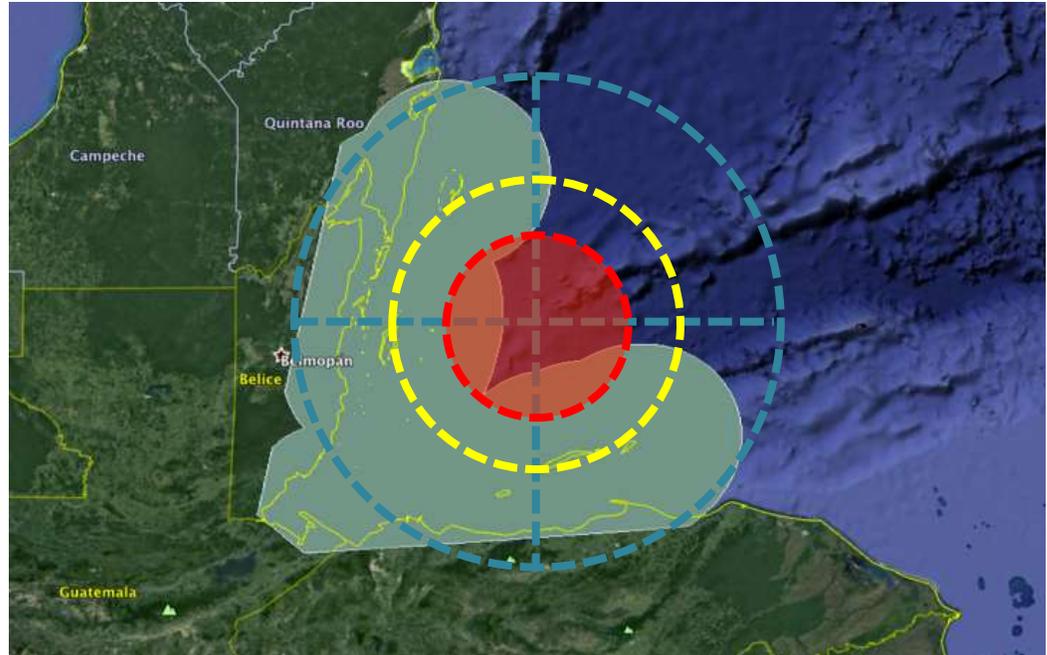


Tabla 10: Distancia (millas náuticas) desde el ojo del huracán hasta el límite de la velocidad del viento reportada por NOAA entre 2004-2017, clasificada por la velocidad máxima del viento agrupada ajustada lo más posible a las categorías de huracán de Saffir-Simpson.

| | | RADIO EN MILLAS NAUTICAS | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------|--------------------------|----------|----------|----------|-----------------------|------------------|
| | | NE | NO | SE | SO | | |
| Velocidad máxima del viento (nudos) | | Promedio | Promedio | Promedio | Promedio | Promedio de promedios | Buffer propuesto |
| 64 nudos | Grupo 1 (60-80) | 34 | 33 | 36 | 31 | 33 | |
| | Grupo 2 (85-100) | 39 | 32 | 35 | 27 | 33 | |
| | Grupo 3 (105-120) | 49 | 42 | 41 | 32 | 41 | 45 |
| | Grupo 4 (125-140) | 50 | 44 | 41 | 30 | 41 | 45 |
| | Grupo 5 (145-160) | 49 | 46 | 43 | 30 | 42 | 45 |
| 50 nudos | Grupo 1 (60-80) | 67 | 57 | 67 | 55 | 62 | |
| | Grupo 2 (85-100) | 70 | 57 | 70 | 48 | 61 | |
| | Grupo 3 (105-120) | 83 | 70 | 83 | 53 | 72 | 70 |
| | Grupo 4 (125-140) | 86 | 73 | 86 | 50 | 74 | 70 |
| | Grupo 5 (145-160) | 85 | 76 | 85 | 48 | 74 | 70 |
| 34 nudos | Grupo 1 (60-80) | 148 | 116 | 141 | 106 | 128 | |
| | Grupo 2 (85-100) | 136 | 110 | 124 | 93 | 116 | |
| | Grupo 3 (105-120) | 155 | 130 | 138 | 100 | 131 | 126 |
| | Grupo 4 (125-140) | 158 | 136 | 123 | 92 | 127 | 126 |
| | Grupo 5 (145-160) | 152 | 141 | 119 | 91 | 126 | 126 |

7 Escenarios de polígonos de seguro

1. Polígonos discretos para cada sitio propuesto.

Este escenario limita los polígonos de seguro a los sitios propuestos, excepto en las Islas de la Bahía, donde los 8 polígonos se agruparon en un polígono. Esta opción permite pagos distintos para cada sitio.

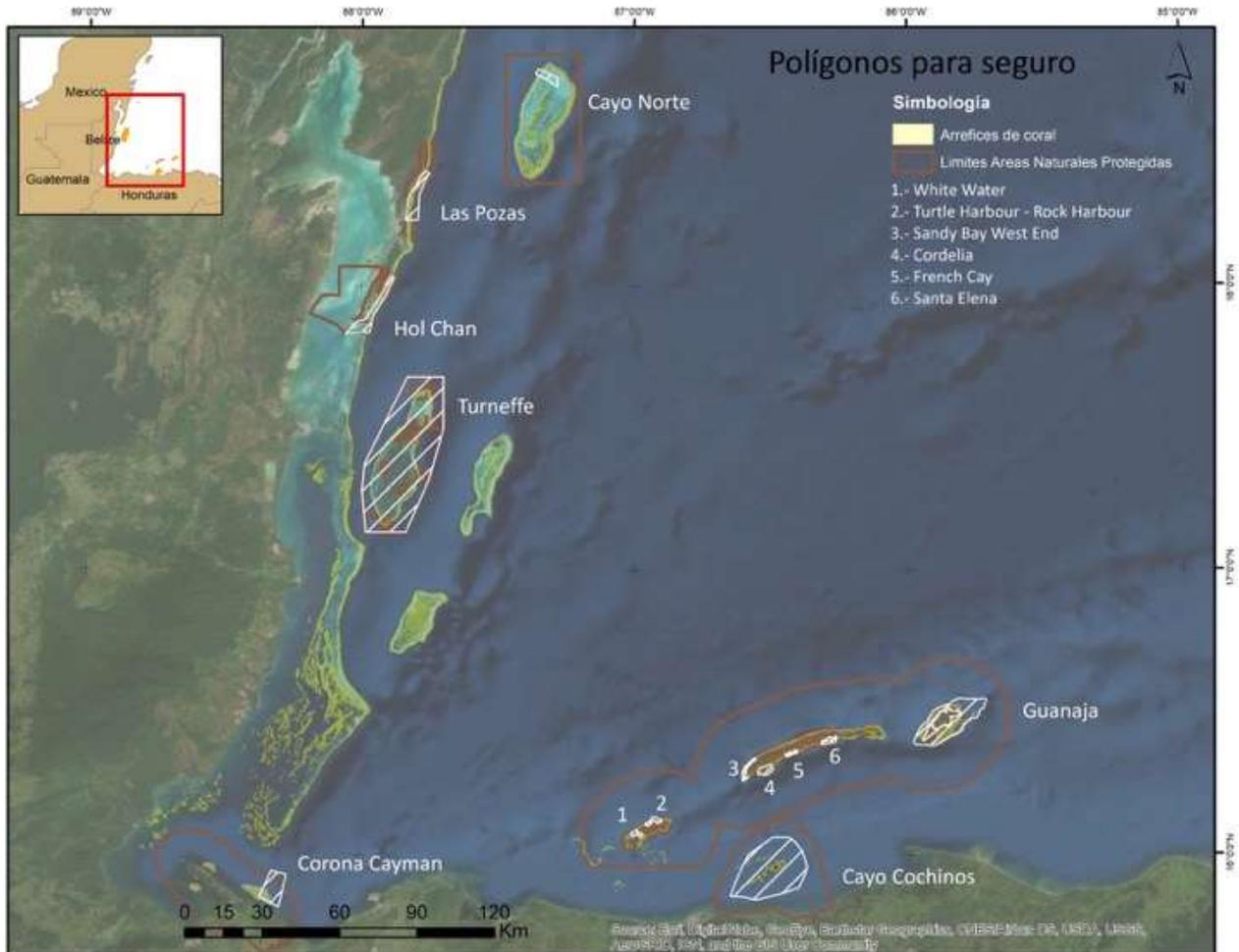


Figura 10: Mapa de los polígonos para el seguro, que corresponden exactamente a los sitios propuestos por los gobiernos en los países del SAM.

2. Un polígono con buffer de 45 millas náuticas.

Este polígono tiene un buffer de la distancia promedio desde el ojo del huracán hasta las velocidades del viento de 64 nudos (45 mn). El desencadenante sería una velocidad del viento de 105 nudos (por encima de los huracanes de categoría 3) para reducir el costo de la póliza siguiendo los resultados de Gardner et al. (2005). Esta opción permite un pago para la región, y se debe diseñar un esquema de distribución entre los sitios afectados.

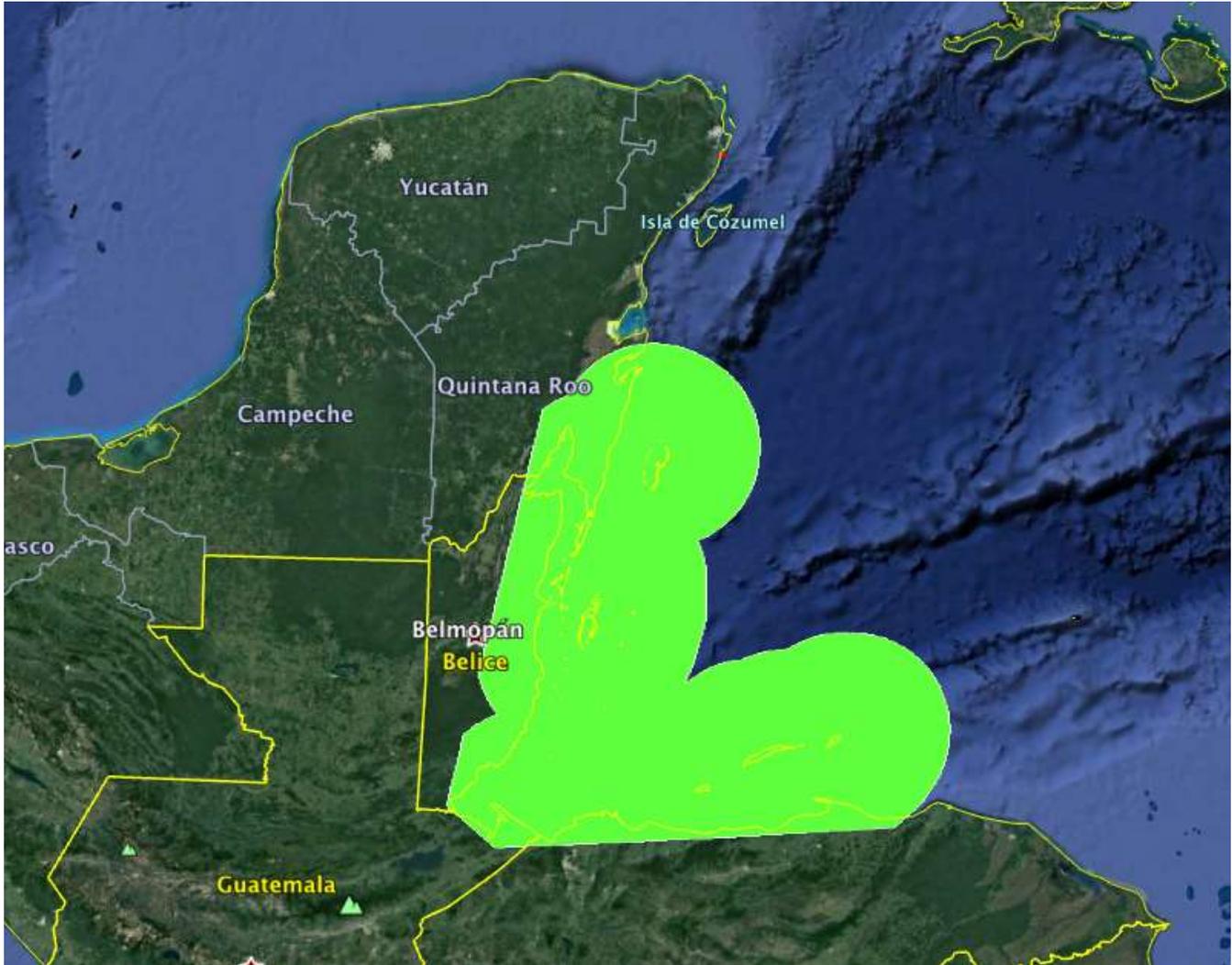


Figura 11: Polígono con buffer de 45 millas náuticas alrededor de los sitios asegurados.

3. Un polígono con 45 millas y dos polígonos distintos alrededor de los arrecifes críticos.

Esta opción establece dos polígonos distintos: uno alrededor de Cordelia y French Cay (Roatán, Islas de la Bahía) y otro de Corona Caimán (Punta Manabique), dado que tienen más del 40% de la cobertura de coral vivo y son más vulnerables a vientos menores de 64 nudos. El detonante para esos polígonos distintos será de 93 nudos (límite inferior para huracanes de categoría 3). Esta opción permite un pago para la región y dos para los polígonos de sitios vulnerables. Se debe idear un esquema de distribución para el polígono más grande.

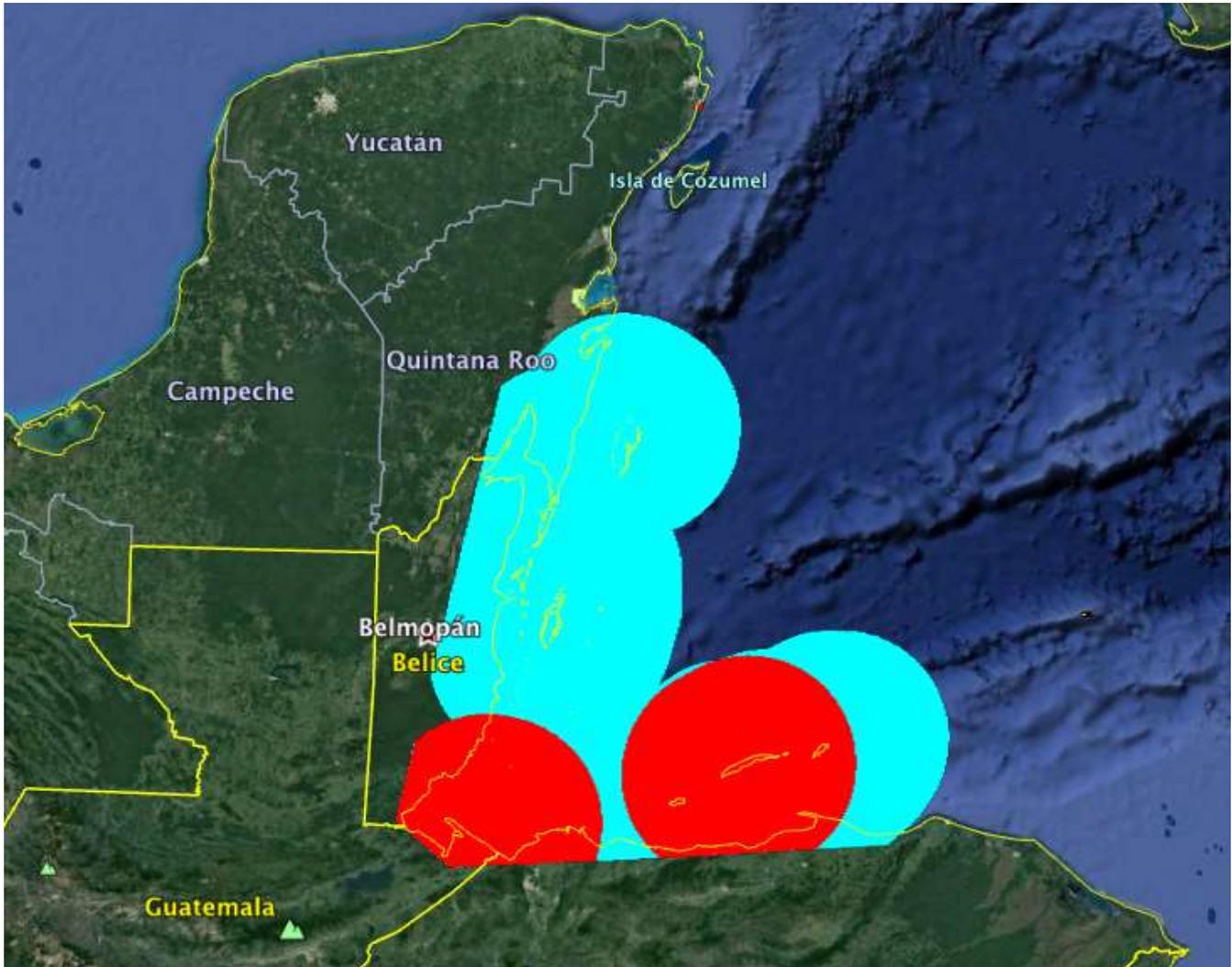


Figura 12: Polígono con un buffer de 45 millas náuticas alrededor de los sitios asegurados y dos polígonos especiales para los arrecifes vulnerables en Corona Caimán (Guatemala) y French Harbour y Cordelia (Bay Islands, Honduras).

4. **Polígonos distintos con 45 millas para cada sitio propuesto.**
5. Esta opción crea un polígono distinto para cada arrecife asegurado. Esta opción permite pagos distintos para cada sitio. Es muy probable que 3-4 sitios se vean afectados por el mismo huracán ya que están cercanas en comparación con la extensión de un huracán.

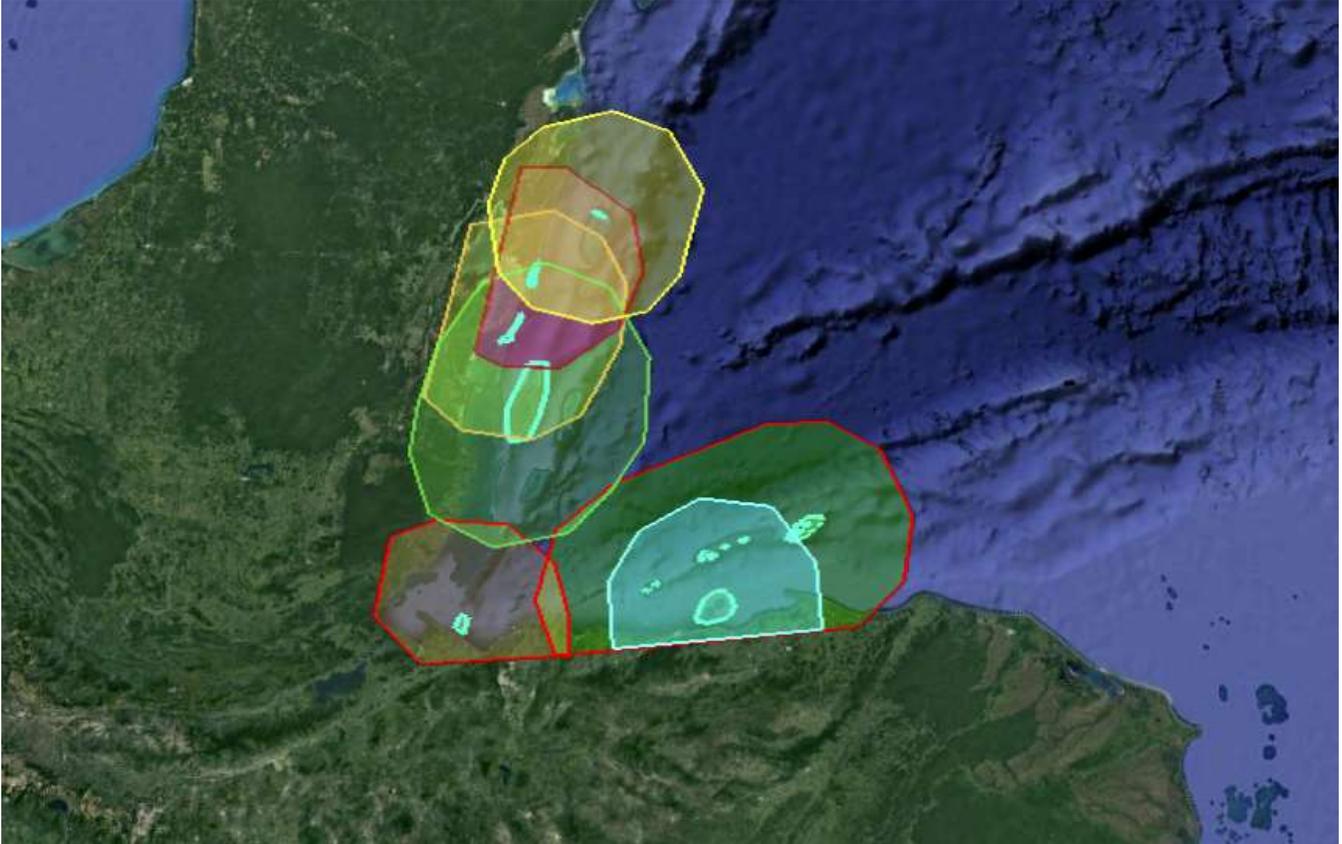


Figura 13: Siete polígonos con buffer de 45 millas náuticas alrededor de los siete sitios asegurados.

6. Polígonos distintos con 45 millas agrupados por país.

Esta opción crea un polígono distinto para cada país, agrupando los dos sitios de cada uno y el de Guatemala. Esta opción permite pagos distintos para cada país. Es muy probable que ambos sitios se vean afectados por el mismo huracán, debido a que se encuentran cercanos en comparación con la extensión de un huracán. Esta opción permite al país recibir los fondos y destinarlos según las prioridades nacionales.

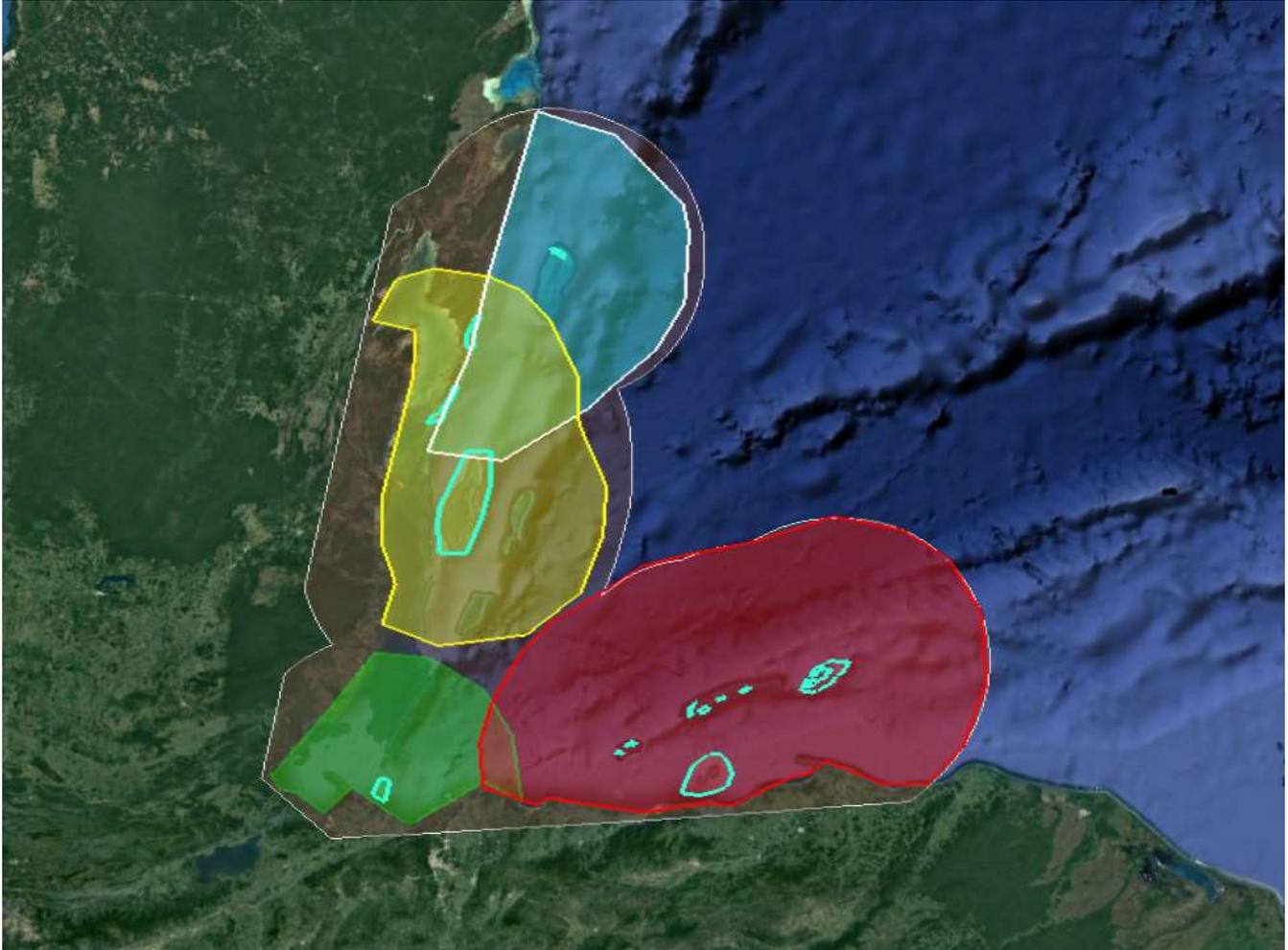


Figura 14: Cuatro polígonos con buffer de 45 millas náuticas alrededor de los dos sitios por país. México (azul), Belice (amarillo), Guatemala (verde) and Honduras (rojo).

7.1 Análisis del impacto de huracanes históricos en los polígonos propuestos

Realizamos un análisis de la trayectoria de los huracanes históricos que azotaron la región durante los últimos 22 años (1996-2018) para evaluar cuáles habrían impactado los polígonos propuestos y podrían haber activado el seguro (H5 - naranja y H4-amarillo), dependiendo del umbral que se seleccione. Medimos la distancia desde el sitio a la trayectoria u ojo del huracán y consideramos que el sitio se vio afectado por el huracán si la distancia es inferior a 45 nm. Asignamos la categoría de tormenta más alta que impactó el sitio.

Figura 15: Huracanes y tormentas desde 1990 y su impacto en los sitios asegurados.

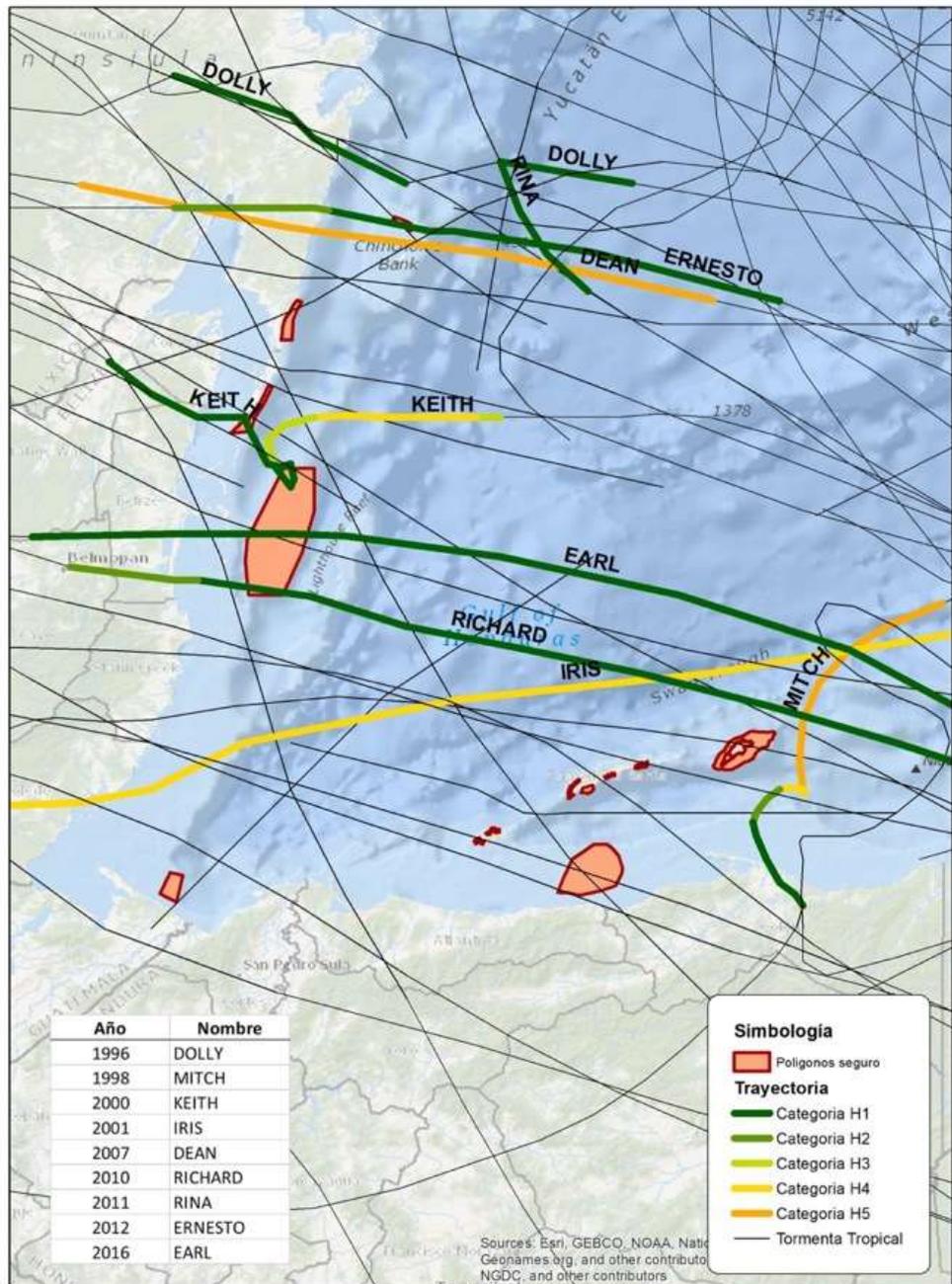


Figura 16: Huracanes y tormentas por categoría y su impacto en los polígonos agrupador por país.

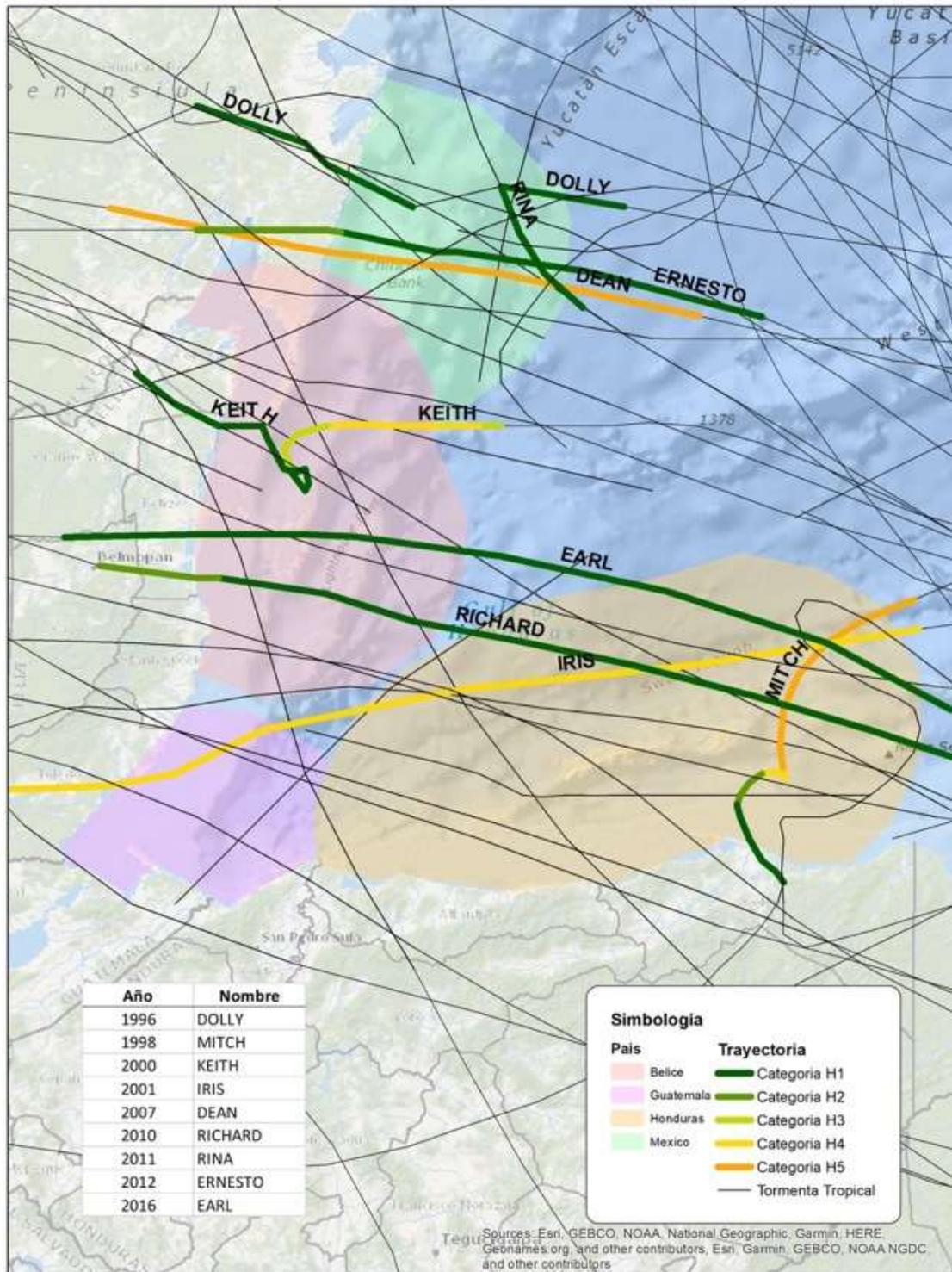


Tabla 11: Huracanes que habrían golpeado el escenario de un polígono para el SAM.

| Año | Nombre | Un polígono |
|------|---------|-------------|
| 1996 | Dolly | H1 |
| 1998 | Mitch | H5 |
| 2000 | Keith | H4 |
| 2001 | Iris | H4 |
| 2007 | Dean | H5 |
| 2010 | Richard | H1 |
| 2011 | Rina | H1 |
| 2012 | Ernesto | H1 |
| 2016 | Earl | H1 |

Tabla 12: Los huracanes que hubieran impactado en los cuatro polígonos agrupados por país.

| Huracán | | Velocidad máxima del viento | | | |
|---------|---------|-----------------------------|--------|----------|-----------|
| Año | Nombre | México | Belice | Honduras | Guatemala |
| 1996 | Dolly | H1 | | | |
| 1998 | Mitch | | | H5 | |
| 2000 | Keith | H4 | H4 | | |
| 2001 | Iris | | | H4 | H4 |
| 2007 | Dean | H5 | H5 | | |
| 2010 | Richard | | H1 | H1 | |
| 2011 | Rina | H1 | | | |
| 2012 | Ernesto | H1 | | | |
| 2016 | Earl | | H1 | H1 | |

Tabla 13: Huracanes que hubieran impactado en los siete polígonos de los sitios. Los resultados son los mismos para sitios con un buffer de 45 mn contra la trayectoria de huracanes, y para sitios sin buffer contra velocidades de 64 nudos al impacto.

| Huracán | | Velocidad máxima del viento | | | | | | |
|---------|---------|-----------------------------|-----------|----------|----------|-------------------|----------------|-------------|
| Año | Nombre | Cayo Norte | Las Pozas | Hol Chan | Turneffe | Islas de la Bahía | Cayos Cochinos | Cayo Corona |
| 1996 | Dolly | H1 | H1 | | | | | |
| 1998 | Mitch | | | | | H5 | H2 | |
| 2000 | Keith | | H4 | H4 | H4 | | | |
| 2001 | Iris | | | | H4 | H4 | | H4 |
| 2007 | Dean | H5 | H5 | H5 | | | | |
| 2010 | Richard | | | H1 | H1 | H1 | | |
| 2011 | Rina | H1 | | | | | | |
| 2012 | Ernesto | H1 | H1 | | | | | |
| 2016 | Earl | | | H1 | H1 | H1 | | |

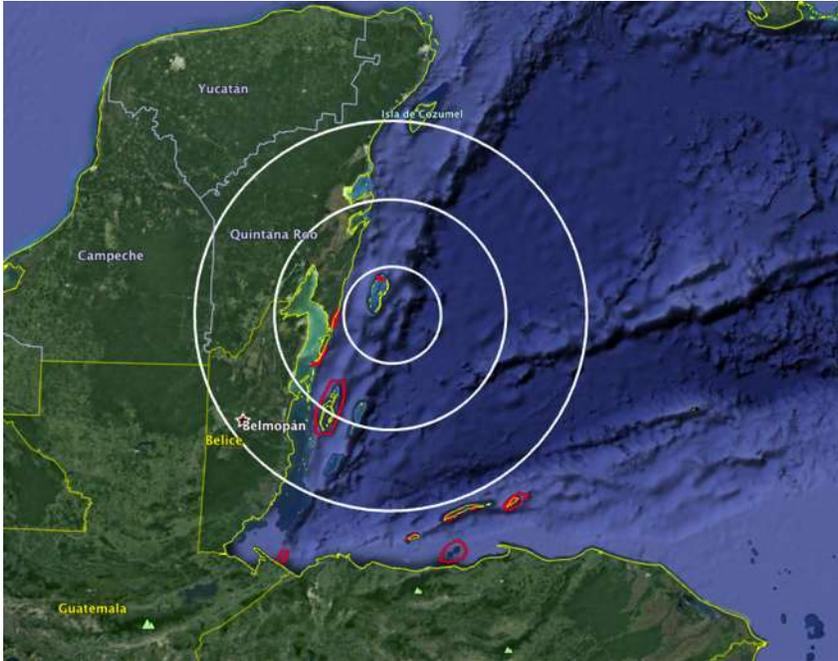


Figura 17: Visualización de la extensión del huracán utilizando el radio promedio de las velocidades del viento a 64, 50 y 34 nudos. Muestra que este hipotético huracán habría impactado tres polígonos (Cayo Norte, Las Pozas y Hol Chan) dado el tamaño de un huracán típico y la proximidad de los sitios asegurados.

8 Escenarios de pago de seguro.

1. Cada sitio con un pago detonado por 64 nudos de velocidad del viento al impacto. Islas de la Bahía y Corona Caimán serán activados por 50 nudos (ver figura 17).

- Parámetro: velocidad del viento al impacto
- Detonante: 50 nudos para polígonos especiales y 64 para los polígonos más grandes.
- Cada sitio tiene un pago distinto.

Tabla 20: Pago por sitio.

| Sitios | Límite de Responsabilidad USD |
|-------------------|-------------------------------|
| Cabo Norte | 300,000 |
| La Poza | 300,000 |
| Hol Chan | 300,000 |
| Turneffe | 300,000 |
| Corona Caimán | 300,000 |
| Islas de la Bahía | 300,000 |
| Cayos Cochinos | 300,000 |
| Total | 2,100,000 |

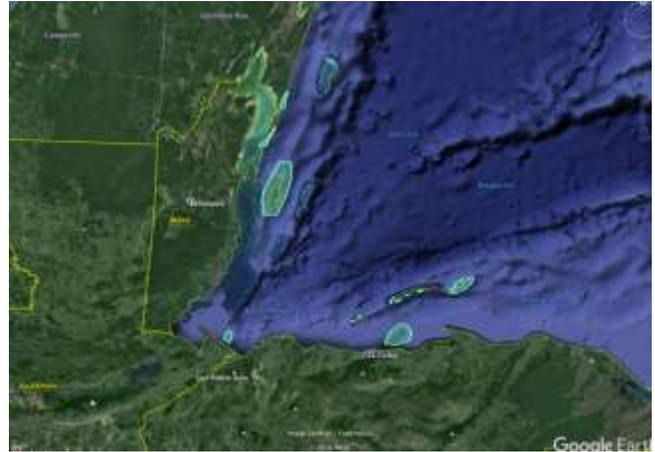


Figura 18: Mapa de los polígonos asegurados.

2. Pago combinado y detonantes entre los 7 sitios (ver figura 18).

- Parámetro: velocidad del viento al impacto.
- Detonante: 50 nudos para polígonos especiales y 64 para los polígonos más grandes.
- El pago del seguro aumenta en relación con la velocidad del viento.
- El monto del pago depende de la cantidad de polígonos del sitio afectados por la velocidad del viento en el momento del impacto.
- El pago aumenta a diferentes valores.
- El límite de responsabilidad es menor que con las pólizas individualizadas.

Tabla 21: Pago por agregación de sitios impactados.

| Sitios | 50 nudos | 64 nudos | 80 nudos |
|---------------------------|----------|----------|-----------|
| 1 | 150,000* | 150,000 | 300,000 |
| 2 | | 300,000 | 600,000 |
| 3 | | 450,000 | 900,000 |
| 4 | | 600,000 | 1,200,000 |
| 5 | | 750,000 | 1,500,000 |
| Límite de Responsabilidad | | | 1,500,000 |

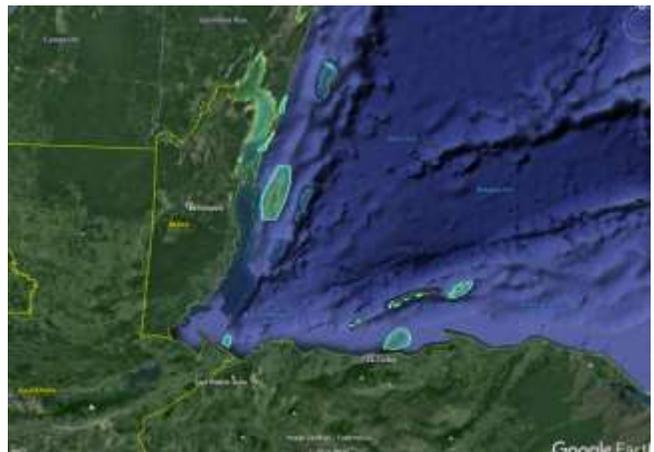


Figura 19: Mapa de los polígonos asegurados.

3. Pago por un polígono de todo el SAM y dos polígonos especiales.

- Parámetro: velocidad máxima del viento
- Detonante: 90 nudos para polígonos especiales y 105 para los polígonos más grandes.
- El pago aumenta en relación con la velocidad del viento.
- Aumenta la posibilidad de un pago dado el tamaño del polígono.
- Requiere un esquema para distribuir la financiación entre los sitios.

Tabla 22: Pago por velocidad del viento.

| Velocidad Máxima del Viento | USD |
|-----------------------------|-----------|
| 90* Nudos | 150,000 |
| 105 nudos | 300,000 |
| 120 nudos | 600,000 |
| 137 nudos | 1,200,000 |
| Límite de Responsabilidad | 1,200,000 |

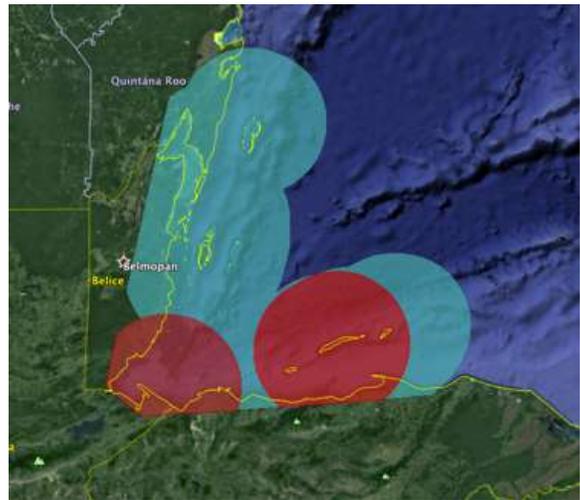


Figura 20: Mapa de polígono del SAM y dos polígonos de arrecifes especiales.

4. Pago de polígonos con 45 millas por cada sitio propuesto.

- Parámetro: velocidad máxima del viento.
- Detonante: 90 nudos para sitios vulnerables y 105 nudos para otros.
- El pago aumenta a medida que aumenta el número de sitios y con la velocidad del viento.

Tabla 23: pagos por sitios impactados y velocidad del viento.

| Sitios | 90 nudos | 105 nudos | 120 nudos |
|---------------------------|----------|-----------|-----------|
| 1 | 150,000* | 150,000 | 300,000 |
| 2 | | 300,000 | 600,000 |
| 3 | | 450,000 | 900,000 |
| 4 | | 600,000 | 1,200,000 |
| 5 | | 750,000 | 1,500,000 |
| Límite de Responsabilidad | | | 1,500,000 |

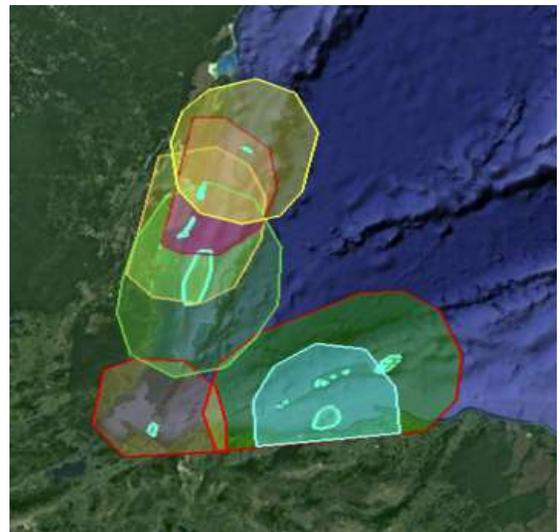


Figura 21: Mapa de polígonos con buffer alrededor de los sitios asegurados.

5. Pago por polígonos por país, riesgo mutualizado.

- Parámetro: velocidad máxima del viento.
- Detonante: 90 nudos para sitios vulnerables y 105 nudos para otros.
- El pago aumenta a medida que se alcanza el número de sitios.

Tabla 24: Pago por polígono impactados y velocidad del viento.

| Sitios | 90 nudos | 105 nudos | 120 nudos |
|---------------------------|----------|-----------|-----------|
| 1 | | 300,000 | 500,000 |
| 2 | | 500,000 | 1,000,000 |
| 3 | | 900,000 | 1,500,000 |
| Gua | 100,000 | 150,000 | 250,000 |
| Límite de Responsabilidad | | | 1,500,000 |

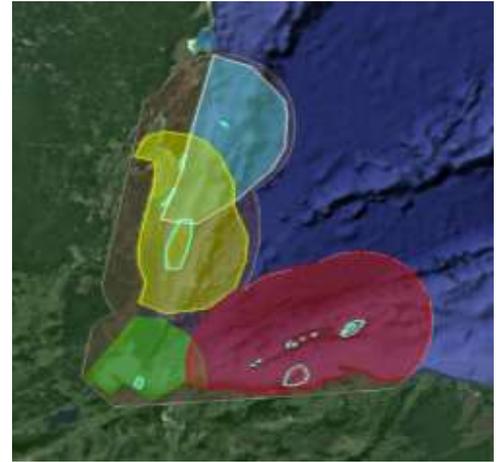


Figura 22. Mapa de polígonos por país.

6. Pago por polígonos por país, riesgo no mutualizado.

- Parámetro: velocidad máxima del viento.
- Detonante: 90 nudos para sitio vulnerable y 105 nudos para otros.
- Distintos pagos por cada hit de polígono de país.
-

Tabla 25: Pagos por polígono.

| Sitios | 90 nudos | 105 nudos | 120 nudos |
|---------------------------|----------|-----------|-----------|
| Belice | | 300,000 | 500,000 |
| México | | 300,000 | 500,000 |
| Honduras | 100,000 | 300,000 | 500,000 |
| Gua | 100,000 | 150,000 | 250,000 |
| Límite de Responsabilidad | | | 1,750,000 |

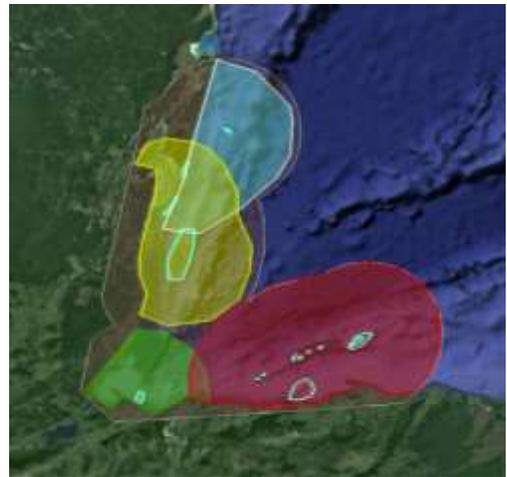


Figura 23. Mapa de polígonos por país.

9 Análisis de escenarios

Proponemos un marco para evaluar los diferentes escenarios para elegir el que mejor satisfaga las necesidades de las partes interesadas.

Tabla 26: Criterios para evaluar los distintos escenarios de polígonos y pagos.

| Características para evaluar los diferentes escenarios | Polígonos discretos para cada sitio propuesto | Polígono con buffer de 45 mn + polígonos distintos | Polígono por país | Polígonos por sitio con buffer de 45 nm |
|---|---|--|-------------------|---|
| Criterios para evaluar las opciones | | | | |
| Costo de la póliza (% de pago) | | | | |
| Distribución del costo de la póliza entre las partes interesadas. | | | | |
| Probabilidad de un evento detonante | | | | |
| Eficiencia en la distribución de fondos a las áreas afectadas | | | | |
| Mutualización de riesgo | | | | |

10 REFERENCIAS

Alvarez-Filip L., Dulvy N.K., Gill J.A., Perry A.L., Watkinson A.R. and Côté I.M. (2011). Drivers of region-wide declines in architectural complexity on Caribbean reefs. *Coral Reefs* 30: 1051.

Beeden R., Maynard J., Puotinen M., Marshall P., Dryden J., Goldberg J., and Williams G. (2015). Impacts and Recovery from Severe Tropical Cyclone Yasi on the Great Barrier Reef. *PLoS ONE* 10(4): e0121272.

Gardner T. A., Côté I. M., Gill J. A., Grant A. and Watkinson A. R. (2005). Hurricanes and Caribbean Reefs: Impacts, recovery patterns, and role in long term decline. *Ecol.*, 86(1): 174-184.

Healthy Reefs. (2019). Healthy Reefs Initiative-Mesoamerican Reef Data Explorer. Recover from <https://oref.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=9556c100e1d9424fa9b3c1748454e297>

Zepeda-Centeno C., Mariño-Tapia I., McLeod E., Rodríguez-Martínez R., Alvarez-Filip L., Banaszak A. T., Escudero-Castillo M., Silva-Casarín R., MendozaBaldwin E., Beck M., and Shaver E. 2019. Guidance Document for Reef Management and Restoration to Improve Coastal Protection: Recommendations for Global Applications based on lessons learned in Mexico. The Nature Conservancy, Mexico. 81 p.

11 ANEXO: INFORMACIÓN DETALLADA DE SITIOS Y COSTOS DE REPARACIÓN

Tabla 27: Costo de reparación de toda el área dañada. Costo de respuesta inmediata, respuesta a medio plazo y total para ambas fases, en USD.

| Costo de respuesta inmediata | % Cobertura de coral vivo | Área con CCV (ha) | % de pérdida proyectada | Pérdida de área proyectada | Área intervenida (100%) | Costo de la respuesta en USD | Costo de la respuesta en USD | Costo de la respuesta en USD |
|------------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Sitio | % | ha | % | ha | ha | 25% | 50% | 100% |
| Banco Chinchorro | 12.30 | 20.06 | 4.92 | 8.02 | 8.02 | 53,792 | 88,138 | 156,830 |
| Xcalak | 17.70 | 315.87 | 7.08 | 126.35 | 126.35 | 310,725 | 598,687 | 1,174,609 |
| Hol-Chan | 10.70 | 112.86 | 4.28 | 45.15 | 45.15 | 224,174 | 409,218 | 779,307 |
| Turneffe | 16.80 | 1187.95 | 6.72 | 475.18 | 190.07 | 1,085,474 | 2,056,666 | 3,999,051 |
| Punta De Manabique | 44.00 | 464.12 | 11.00 | 116.03 | 58.01 | 216,204 | 402,416 | 774,841 |
| Utila | 18.85 | 75.70 | 6.85 | 27.52 | 11.01 | 98,220 | 166,340 | 302,579 |
| Roatán | 30.28 | 224.37 | 9.52 | 70.58 | 28.23 | 213,215 | 393,906 | 755,288 |
| Guanaja | 19.30 | 850.36 | 7.72 | 340.14 | 136.06 | 833,559 | 1,599,792 | 3,132,258 |
| Cayos Cochinos | 16.10 | 232.98 | 6.44 | 93.19 | 37.28 | 212,426 | 386,470 | 734,559 |
| Total | | 3,484 | | 1,302 | 640 | 3,247,790 | 6,101,634 | 11,809,322 |

Tabla 28: Costo de reparación de toda el área dañada. Costo de respuesta a medio plazo en USD.

| Costo de respuesta a medio plazo | % Cobertura de coral vivo | Área con CCV (ha) | % de pérdida proyectada | Pérdida de área proyectada | Área intervenida (100%) | Costo de la respuesta en USD | Costo de la respuesta en USD | Costo de la respuesta en USD |
|----------------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Sitio | % | ha | % | ha | ha | 25% | 50% | 100% |
| Banco Chinchorro | 12.30 | 20.06 | | 8.02 | N/A | 147,281 | 269,106 | 512,757 |
| Xcalak | 17.70 | 315.87 | | 126.35 | N/A | 144,317 | 265,160 | 506,846 |
| Hol-Chan | 10.70 | 112.86 | | 45.15 | N/A | 182,919 | 336,855 | 644,726 |
| Turneffe | 16.80 | 1187.95 | | 475.18 | N/A | 202,478 | 369,868 | 704,648 |
| Punta De Manabique | 44.00 | 464.12 | | 116.03 | N/A | 142,980 | 259,943 | 493,868 |
| Utila | 18.85 | 75.70 | | 27.52 | N/A | 173,256 | 318,706 | 609,606 |
| Roatán | 30.28 | 224.37 | | 70.58 | N/A | 173,256 | 318,706 | 609,606 |
| Guanaja | 19.30 | 850.36 | | 340.14 | N/A | 173,256 | 318,706 | 609,606 |
| Cayos Cochinos | 16.10 | 232.98 | | 93.19 | N/A | 171,322 | 314,838 | 601,870 |
| Total | | 3,484 | | 1,302 | 0 | 1,511,066 | 2,771,888 | 5,293,533 |

Tabla 29: Costo de reparación de toda el área dañada. Costo de respuesta para ambas fases, en USD.

| Costo de respuesta inmediata y a medio plazo | % Cobertura de coral vivo | Área con CCV (ha) | % de pérdida proyectada | Pérdida de área proyectada | Área intervenida (100%) | Costo de la respuesta en USD | Costo de la respuesta en USD | Costo de la respuesta en USD |
|--|---------------------------|-------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Sitio | % | ha | % | ha | ha | 25% | 50% | 100% |
| Banco Chinchorro | 12.30 | 20.06 | 4.92 | 8.02 | 8.02 | 201,073 | 357,244 | 669,587 |
| Xcalak | 17.70 | 315.87 | 7.08 | 126.35 | 126.35 | 455,042 | 863,847 | 1,681,456 |
| Hol-Chan | 10.70 | 112.86 | 4.28 | 45.15 | 45.15 | 407,093 | 746,073 | 1,424,032 |
| Turneffe | 16.80 | 1187.95 | 6.72 | 475.18 | 190.07 | 1,287,952 | 2,426,534 | 4,703,698 |
| Punta De Manabique | 44.00 | 464.12 | 11.00 | 116.03 | 58.01 | 359,184 | 662,359 | 1,268,709 |
| Utila | 18.85 | 75.70 | 6.85 | 27.52 | 11.01 | 271,477 | 485,046 | 912,185 |
| Roatán | 30.28 | 224.37 | 9.52 | 70.58 | 28.23 | 386,471 | 712,612 | 1,364,894 |
| Guanaja | 19.30 | 850.36 | 7.72 | 340.14 | 136.06 | 1,006,815 | 1,918,498 | 3,741,865 |
| Cayos Cochinos | 16.10 | 232.98 | 6.44 | 93.19 | 37.28 | 383,748 | 701,308 | 1,336,429 |
| Total | | 3,484 | | 1,302 | | 4,758,856 | 8,873,522 | 17,102,855 |

Tabla 30: Costo de reparación considerando una capacidad de respuesta de 3 brigadas (18 buzos, 12 buceadores y 3 botes). Costo de respuesta inmediata, respuesta a medio plazo y total para ambas fases, en USD .

| Sitio | Cobertura de coral vivo | Área con CCV (ha) | Pérdida de cobertura de coral vivo | Costo de la respuesta en USD | Costo de la respuesta en USD | Costo de la respuesta en USD |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------------|------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | % | ha | ha | 25% | 50% | 100% |
| Costo de respuesta inmediata | | | | | | |
| Banco Chinchorro | 12.30 | 20.06 | 8.02 | 91,016 | 156,211 | 286,602 |
| Xcalak | 17.70 | 315.87 | 126.35 | 69,474 | 120,242 | 221,778 |
| Hol-Chan | 10.70 | 112.86 | 45.15 | 118,295 | 196,967 | 354,313 |
| Turneffe | 16.80 | 1,187.95 | 475.18 | 142,125 | 236,664 | 425,742 |
| Punta De Manabique | 44.00 | 464.12 | 116.03 | 71,920 | 112,830 | 194,650 |
| Utila | 18.85 | 75.70 | 27.52 | 122,009 | 207,895 | 379,668 |
| Roatán | 30.28 | 224.37 | 70.58 | | | |
| Guanaja | 19.30 | 850.36 | 340.14 | | | |
| Cayos Cochinos | 16.10 | 232.98 | 93.19 | 105,557 | 175,526 | 315,464 |
| Total | | 3,484 | 1,302 | 964,413 | 1,622,127 | 2,937,553 |

| | | | | | | |
|---|-------|--------------|--------------|------------------|------------------|------------------|
| Costo de respuesta a medio plazo | | | | | | |
| Banco Chinchorro | 12.30 | 20.06 | 8.02 | 147,281 | 269,106 | 512,757 |
| Xcalak | 17.70 | 315.87 | 126.35 | 144,317 | 265,160 | 506,846 |
| Hol-Chan | 10.70 | 112.86 | 45.15 | 182,919 | 336,855 | 644,726 |
| Turneffe | 16.80 | 1,187.95 | 475.18 | 202,478 | 369,868 | 704,648 |
| Punta De Manabique | 44.00 | 464.12 | 116.03 | 142,980 | 259,943 | 493,868 |
| Utila | 18.85 | 75.70 | 27.52 | 173,256 | 318,706 | 609,606 |
| Roatán | 30.28 | 224.37 | 70.58 | | | |
| Guanaja | 19.30 | 850.36 | 340.14 | | | |
| Cayos Cochinos | 16.10 | 232.98 | 93.19 | 171,322 | 314,838 | 601,870 |
| Total | | 3,484 | 1,302 | 1,511,066 | 2,771,888 | 5,293,533 |

| | | | | | | |
|---|-------|--------------|--------------|------------------|------------------|------------------|
| Costo de respuesta inmediata y a medio plazo | | | | | | |
| Banco Chinchorro | 12.30 | 20.06 | 8.02 | 238,297 | 425,318 | 799,358 |
| Xcalak | 17.70 | 315.87 | 126.35 | 213,791 | 385,402 | 728,625 |
| Hol-Chan | 10.70 | 112.86 | 45.15 | 301,214 | 533,822 | 999,038 |
| Turneffe | 16.80 | 1,187.95 | 475.18 | 344,602 | 606,531 | 1,130,389 |
| Punta De Manabique | 44.00 | 464.12 | 116.03 | 214,900 | 372,773 | 688,518 |
| Utila | 18.85 | 75.70 | 27.52 | 295,265 | 526,602 | 989,274 |
| Roatán | 30.28 | 224.37 | 70.58 | | | |
| Guanaja | 19.30 | 850.36 | 340.14 | | | |
| Cayos Cochinos | 16.10 | 232.98 | 93.19 | 276,879 | 490,364 | 917,333 |
| Total | | 3,484 | 1,302 | 2,475,480 | 4,394,015 | 8,231,085 |