



Correlación entre los daños a arrecifes causados por huracanes y las características de los huracanes que provocan los daños.

Iniciativa Mesoamericana de Rescate de Arrecifes (RRI)

M. en C. Esmeralda Pérez Cervantes

M. en B. Fernando Pardo Urrutia.

Asesores: : Dr. Lorenzo Álvarez Filip

Dr. Fernando Secaira Fajardo





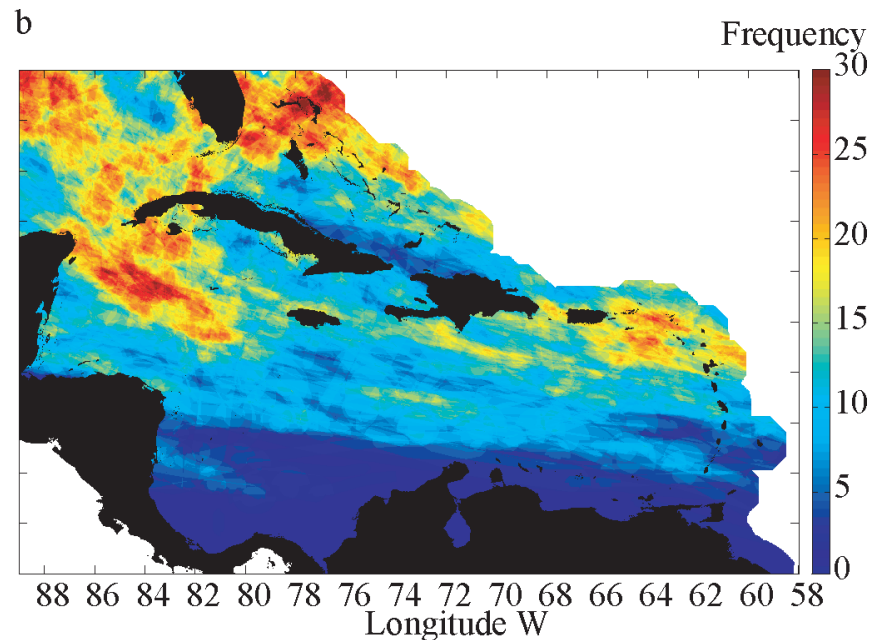
- Los arrecifes de coral son uno de los **ecosistemas más diversos** del mundo: por su arquitectura **tridimensional** pueden albergar a cientos de miles de especies distintas.



Dentro de los desastres naturales que afectan a los arrecifes encontramos a los huracanes. Cada año, la zona del Caribe recibe en promedio 6.2 huracanes durante los meses de junio a noviembre.

Huracán Emily 2005

Frecuencia de los huracanes categoría 1-5 de 1851 a 2008 en el Caribe.

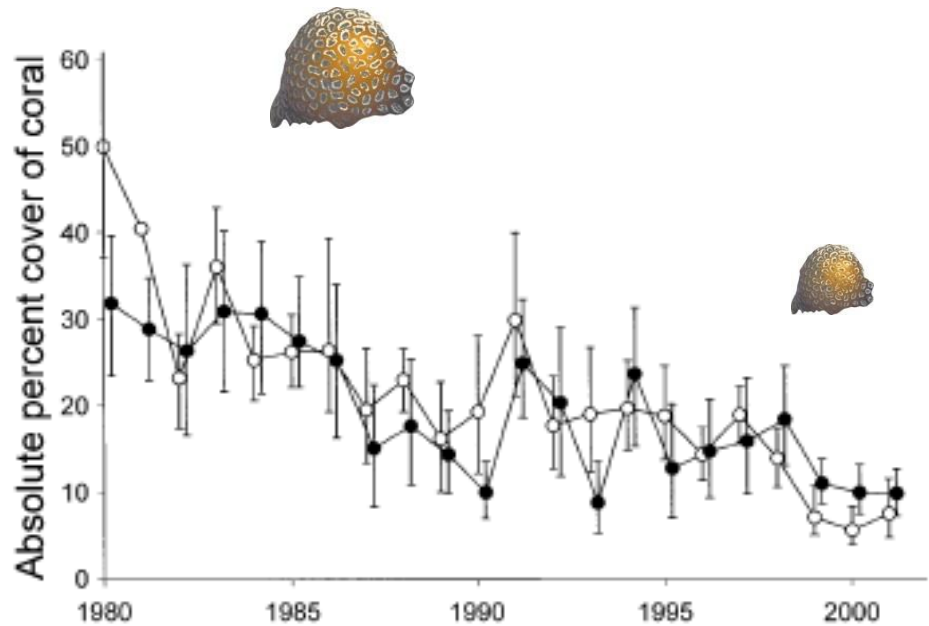


(Chollett *et. al.*, 2012).



(Álvarez-Filip *et. al.*, 2006)

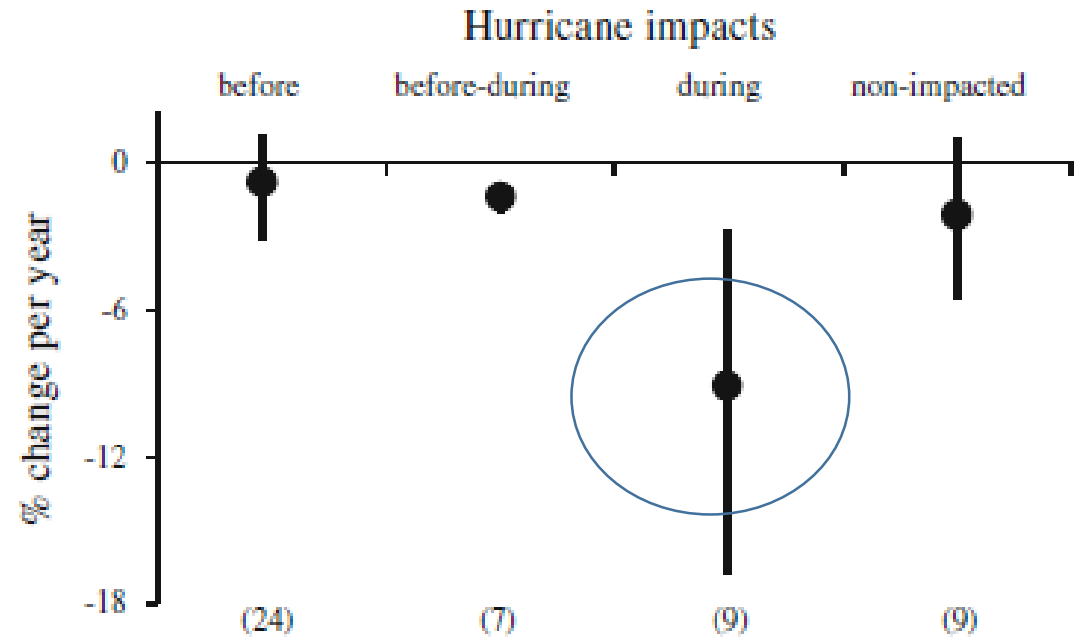
Cobertura del porcentaje de coral en los círculos impactados (círculos sólidos) y Sitios no afectados (círculos abiertos) en la Cuenca del Caribe desde 1980 hasta 2001.



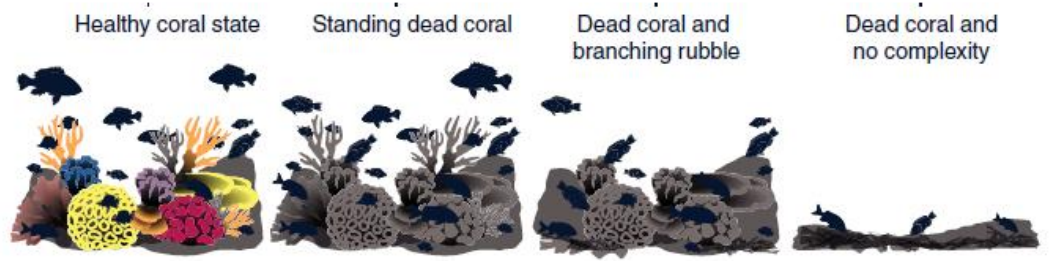
Sitios impactados por huracanes decaen en tasas más rápidas que los que no (6% al año contra el 2 %).

(Gardner et. al., 2005)

Efecto de los impactos de huracanes en las tasas de cambio de complejidad arquitectónica en el Caribe



(Álvarez-Filip et. al. 2011)



(Rogers et. al. 2018)

Objetivos

- Presentar los resultados de la correlación entre los daños a arrecifes causados por huracanes y las características de los huracanes que provocan los daño en los arrecifes del Caribe y de la Región del SAM.
- Presentar la lista de parámetros que podrían activar el pago del seguro paramétrico en el SAM.



Método

1. Revisión bibliográfica y colecta de datos de: coberturas de coral, rugosidades y huracanes.

2. Integración del conjunto de datos para realizar los análisis.

3. Análisis exploratorios

4. Análisis inferenciales.



1. Revisión bibliográfica y colecta de datos de: coberturas de coral y rugosidades.

- Realizando una búsqueda bibliográfica

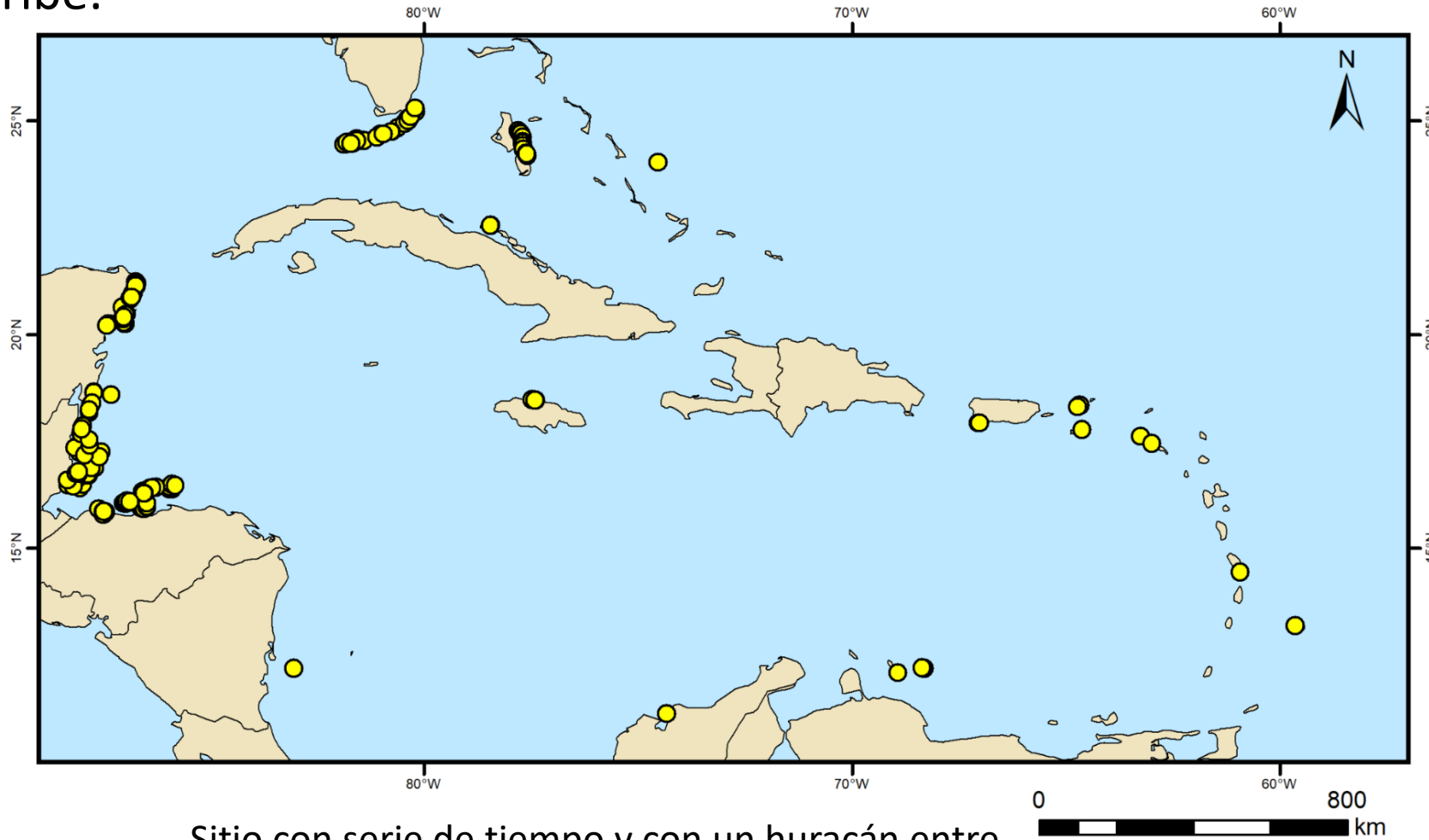


- Solicitud de datos a diversas instituciones e investigadores.
Se creó una carta y un formato para la colecta de datos



1. Revisión bibliográfica y colecta de datos de: coberturas de coral y rugosidades.

Mapa de los sitios recopilados para el análisis con datos de cobertura de coral en el Caribe.



● Sitio con serie de tiempo y con un huracán entre remuestreo.



BARCOLAB
LABORATORIO DE BIODIVERSIDAD
ARRECIFAL Y CONSERVACIÓN

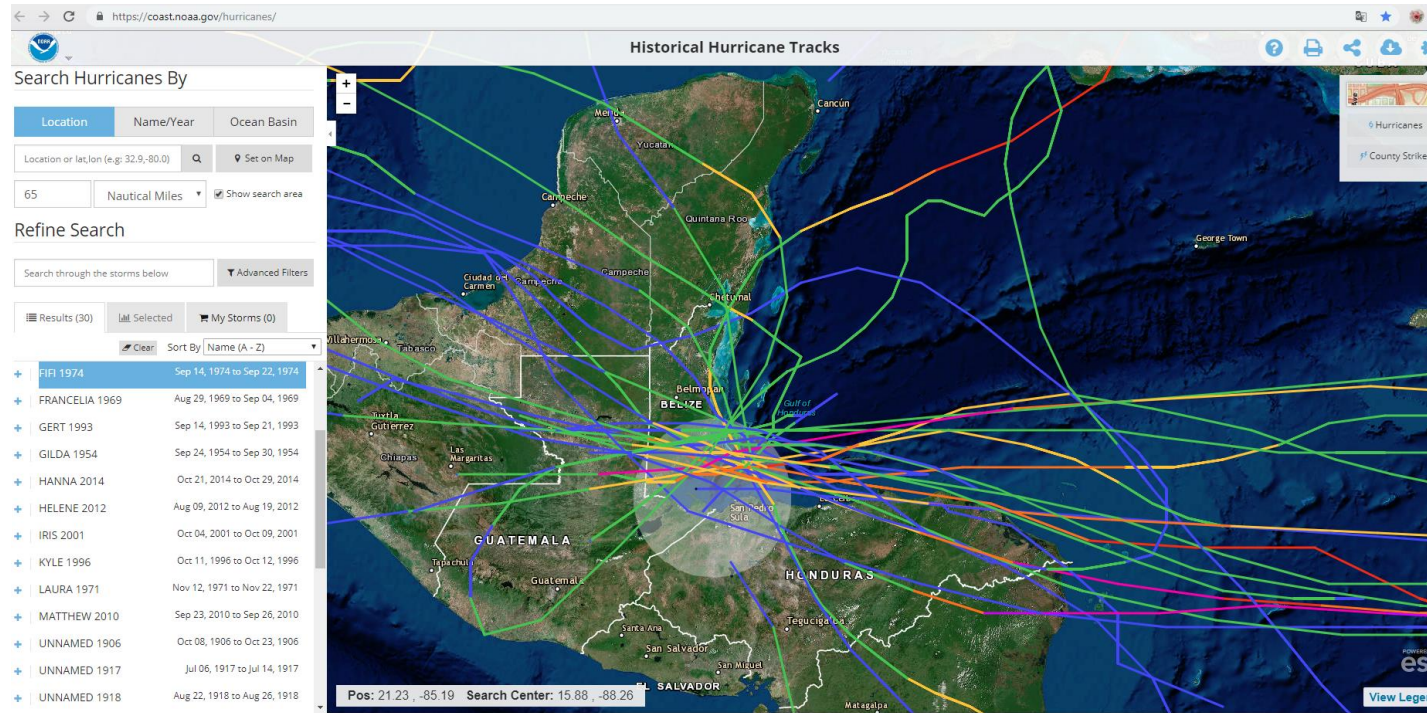


Healthy Reefs
for healthy people



1. Revisión bibliográfica y colecta de datos de: huracanes.

El Centro Nacional de Huracanes (NHC) realiza un análisis posterior a la tormenta de cada ciclón tropical para determinar la evaluación oficial de la historia del ciclón, Difundiendo la base de datos histórica de ciclones tropicales en un formato conocido como HURDAT .



1. Revisión bibliográfica y colecta de datos de: huracanes.

Base HURDAT2 del Atlántico.



- De la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) se descargó y editó para su uso la base de datos: HURDAT2 (“The revised Atlantic hurricane database”).
 - Base de datos delimitada por comas.
 - Información cada **seis horas** sobre la ubicación. La base contiene la siguiente información: nombre del huracán, fecha, ubicación, vientos máximo, presión central y tamaño a partir de 2004.

2. Integración del conjunto de datos para realizar los análisis: Cobertura de coral y rugosidad.



Información del Proyecto		Información del Sitio	Información de la metodología	Cobertura de Coral	Complejidad
Fuente		PAÍS	Protocolo utilizado	#Transectos	#Transectos
Autor/administrador del proyecto		ANP	Fecha	% Cobertura	Rugosidad
Contacto		Región del arrecife	Hora	SE +/-	SE +/-
Título		Localidad		SD +/-	SD +/-
Documento		Sitio			
Cita		Tipo de arrecife			
Institución		Zona arrecifal			
Suborganización		Latitud			
<u>Tema</u>		Longitud			
Año de publicación		Año de muestreo			
Nombre del Proyecto		Profundidad (m)			
Nivel de agregación de datos					
Numero de sitios agregados					
Método de Selección de Sitios					
Proposito					
Fecha de inicio					
Fecha de término					

2. Integración del conjunto de datos para realizar los análisis: Cobertura de coral y rugosidad.

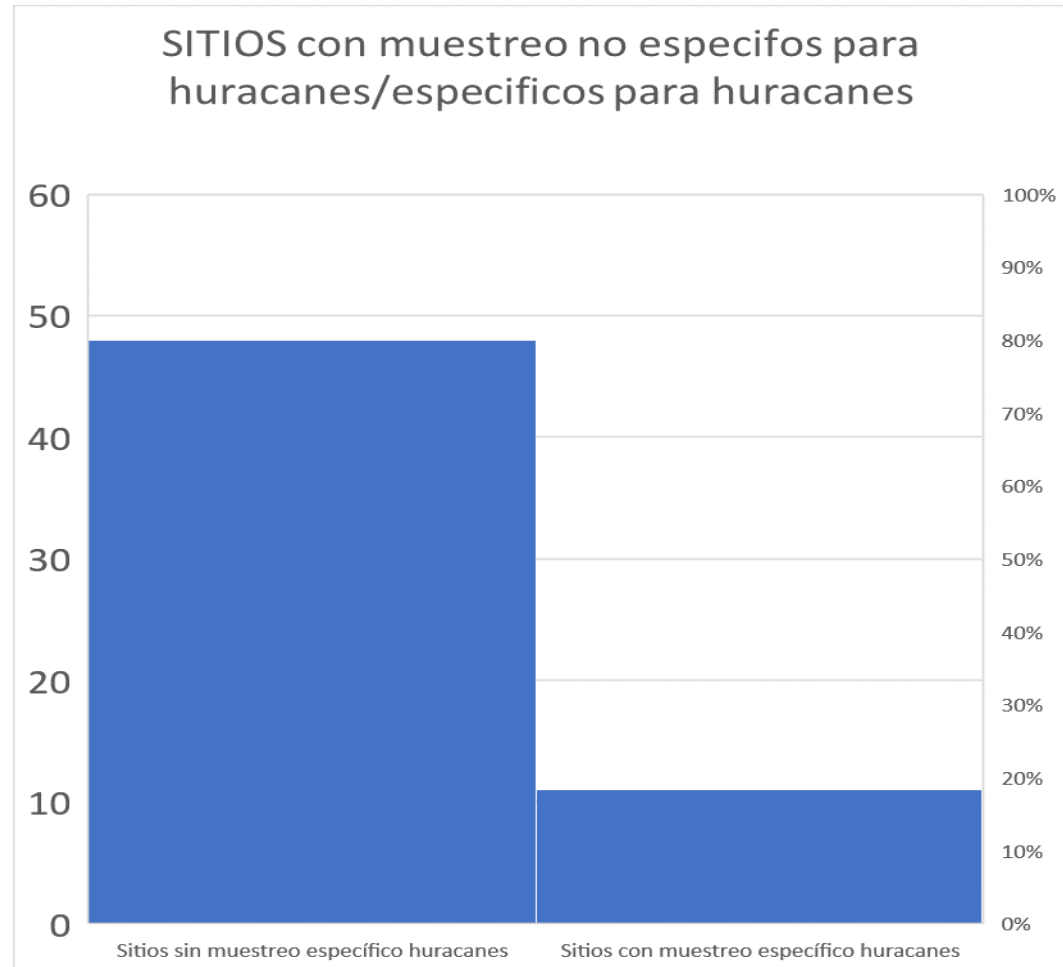
59 Sitios recopilados para el análisis con datos de rugosidad.

Tipo de documento	No. SITIOS
Artículo	29
Base de datos	27
Informes	3



Sitios con muestreo específico huracanes 11

Sitios sin muestreo específico huracanes 48



2. Integración del conjunto de datos para realizar los análisis: Cobertura de coral y rugosidad.

414 Sitios recopilados para el análisis con datos de cobertura de coral.

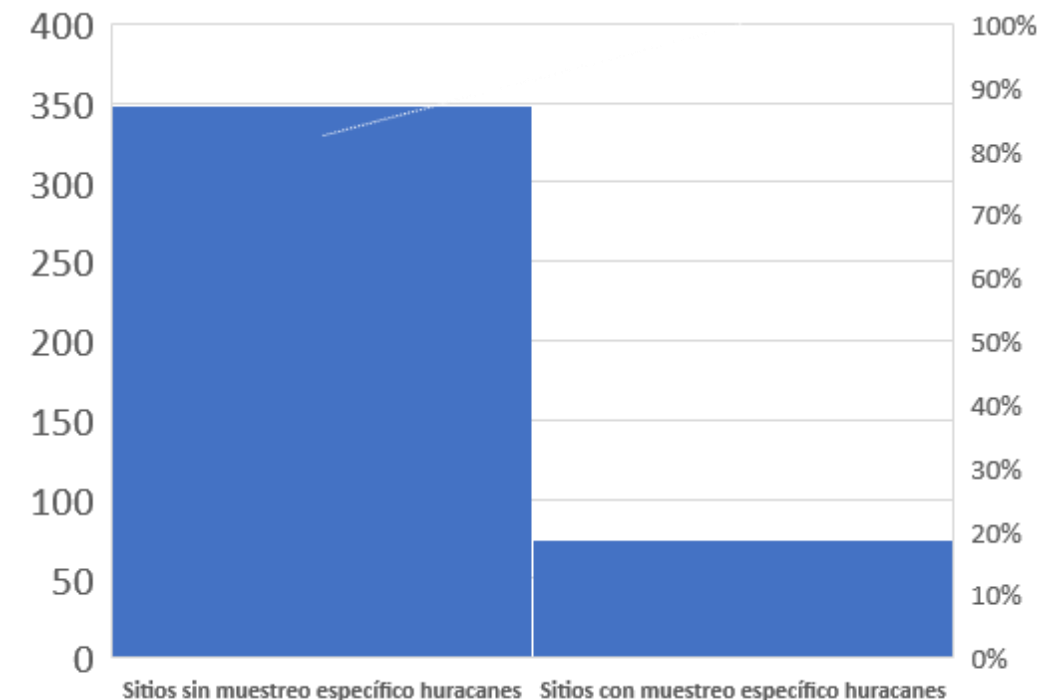
Tipo de documento	No. SITIOS
Artículo	48
Base de datos	356
Informes	5
Tesis Licenciatura	5



Sitios con muestreo
específico huracanes → 75

Sitios sin muestreo
específico huracanes → 349

SITIOS con muestreo no específicos para huracanes/específicos para huracanes



2. Integración del conjunto de datos para realizar los análisis: Cobertura de coral y rugosidad.

Países con datos en el Caribe de 1973-2017 de 414 sitios.

PAIS	1973	1974	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1985	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Belice																	4	4	2	2								84		18	68		44	4	18	48				
Guatemala																												6						4	5					
México									5		15	5	15			2	2	1	1	1	1					6	111	63	24	24	48	18	32	16	14	14			2	
Honduras																												78			18	16	52	34	12	70				
Bahamas																													33	23	34		35	1						
Barbados																1	2																							
Bermuda																2	2	2		1	2																			
Bonaire	4							4						3	1		2	2	2	6		1		3	4					4				4						
Colombia																4	2	2	2	2	2																			
Cuba																	4	2	2	2				8					8											
Curacao	4							4						3	1		1	4		4					4						4				4					
Estados Unidos																			32	31	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Isla Grandel del Maiz																1		1		1	1																			
Islas Caiman																		2		2																				
Islas Virgenes EUA				3	6	3											4	4	4	4	4	4	6	7	7	7	8	8	9	9	9	9	9	9	7	7	7	7	7	
Jamaica		7			5		2									1	1	1	2	2																				
Martinica																														2										
Puerto Rico																	2	3	3	2	2																			
Republica Dominicana																			2	1																				
Saba																1	2	2	2		2																			
San Eustaquio																						1					1			1	1						1	1		
San Salvador																	2	4	2	2	2																			
Tobago																	2	2	2	2	1																			
Venezuela																		4	6	2	2																			
Total SITIOS	4	4	7	3	11	3	2	8	5	9	31	16	27	10	6	16	32	40	64	67	51	40	39	50	47	40	46	153	272	109	115	209	75	202	106	97	171	40	1	2

3. Análisis exploratorio: Propósito.

Obtener una imagen clara de la relación de las diferentes características de los arrecifes con los daños causados por huracanes a los arrecifes de coral, a fin de guiar y mejorar la fase de modelado.

3. Análisis exploratorio: Cuantificación del daño de arrecife en cobertura de coral.

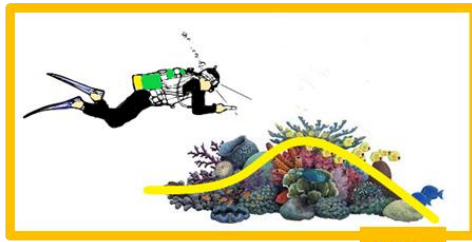
1. Cobertura de coral



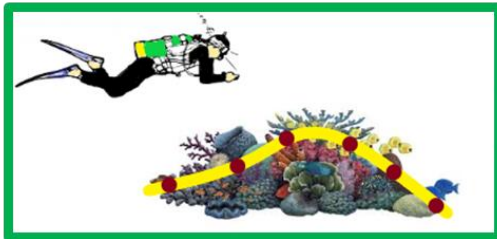
Cantidad de corales pétreos que se encuentran sobre el arrecife. Se considerará el porcentaje de cobertura antes y después del paso del huracán.



Cuadrantes



LIT



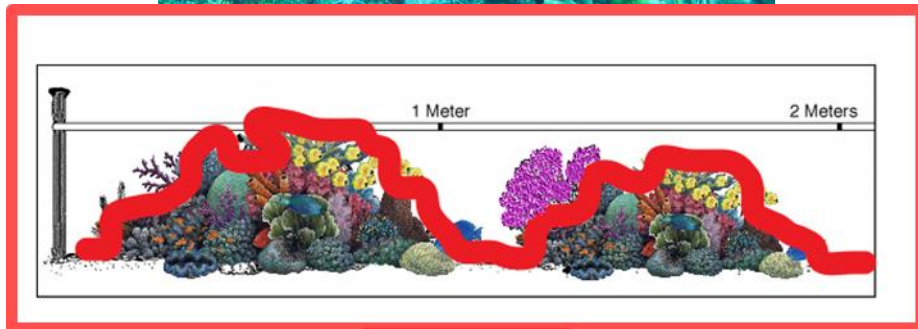
PIT

3. Análisis exploratorio: Cuantificación del daño de arrecife en rugosidad.

2. Rugosidad



Una cadena mide el contorno de una distancia conocida sobre el arrecife y se obtiene el cociente del tamaño de la cadena y la distancia conocida.



Cadena

3. Análisis exploratorio: métodos

Variable independiente: Tasa efectiva

La tasa efectiva se utilizó para cuantificar el daño que puede provocar un huracán: una tasa efectiva negativa indica una pérdida de cobertura en porcentaje y una tasa efectiva positiva un aumento.

Tasa logarítmica

$$\delta = \frac{\log(V_f) - \log(V_0)}{t}$$

Tasa efectiva	$i = e^{\delta} - 1$
----------------------	----------------------

V_f = valor final de un *proceso*
(cobertura de coral o rugosidad).

V_0 = valor inicial.

t = tiempo.

log=logaritmo.

e = exponencial (2,71828)

δ = Tasa logarítmica.

i = tasa efectiva.

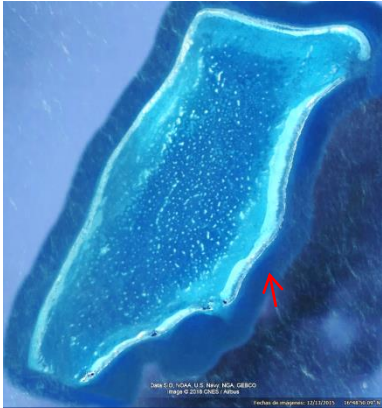
Análisis exploratorio: descripción de variables arrecifales.

Variables consideradas fueron:

- 1. Cobertura de coral inicial.**
- 2. Rugosidad inicial.**
- 3. Tipo de arrecife.**
- 4. Zona arrecifal.**
- 5. Profundidad del arrecife.**
- 6. Exposición**
- 7. Tamaño del arrecife.**
- 8. Fetch (Grado de protección ante el oleaje).**

Análisis exploratorio: descripción de variables arrecifales.

3. Tipo de arrecife.



Atolón (Belice)

Sistema de arrecifes ovoides irregulares rodeados de aguas profundas



Barrera (Las Islas Turcas y Caicos)

Sistema de arrecifes lineales y continuos.



Costero (Las Islas Turcas y Caicos)

Arrecifes adyacente a la costa cercano a la costa y terminando hacia el mar en una bahía o laguna



Plataforma (Veracruz)

Arrecifes grandes, someros e irregulares, por lo general redondeados y largos

Análisis exploratorio: descripción de variables arrecifales.

3. Tipo de arrecife.



Banco (Las Islas Turcas y Caicos)

Arrecifes en un sistema lineal de borde de plataforma



Bajo (Republica Dominicana)

Estructura arrecifal sumergida poco profunda con corales en la bahía o en la laguna



Parche (Florida))

Estructura de arrecife aislada y/o fusionada que se eleva por encima del fondo del mar.

Análisis exploratorio: descripción de variables arrecifales.

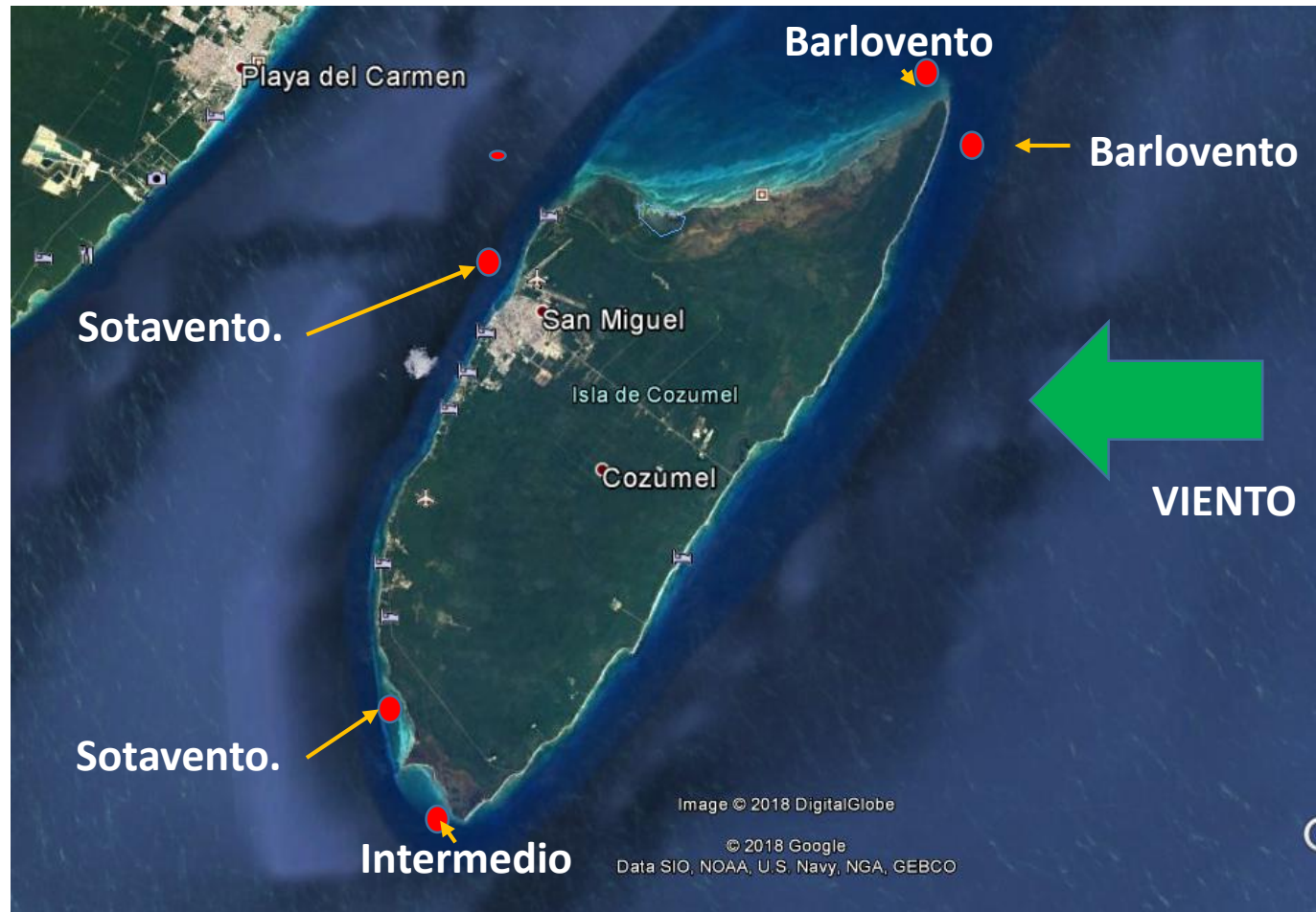
4. Zona arrecifal

5. Profundidad



- Cresta: La zona más somera y a veces expuesta al aire.
- Frontal: Parte del arrecife que se dirige al mar.
- Posterior: Parte del arrecife que se dirige a la costa.
- Laguna: área poco profunda protegida del mar por una cresta del arrecife

6. Localización (exposición).

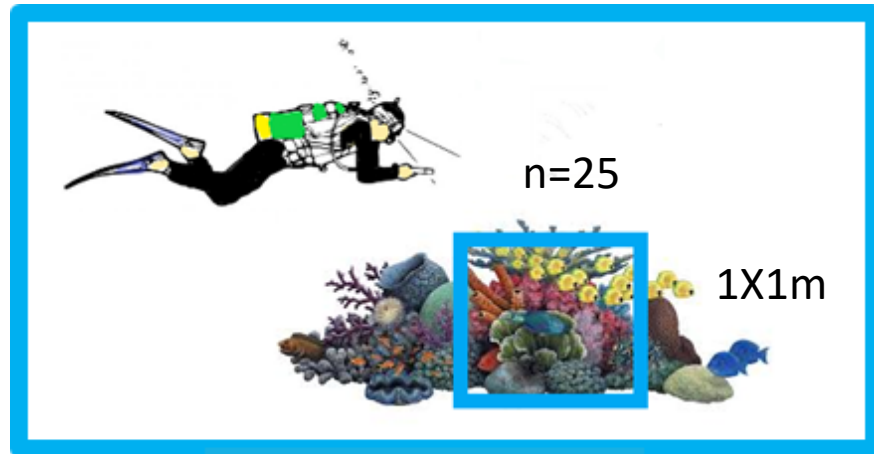


Se determinó dependiendo la **protección al viento y a la olas**, con la exposición del sitio:

- **Sotavento**, protegido.
- **Intermedio**
- **Barlovento**, expuesto.

7. Tamaño del arrecife.

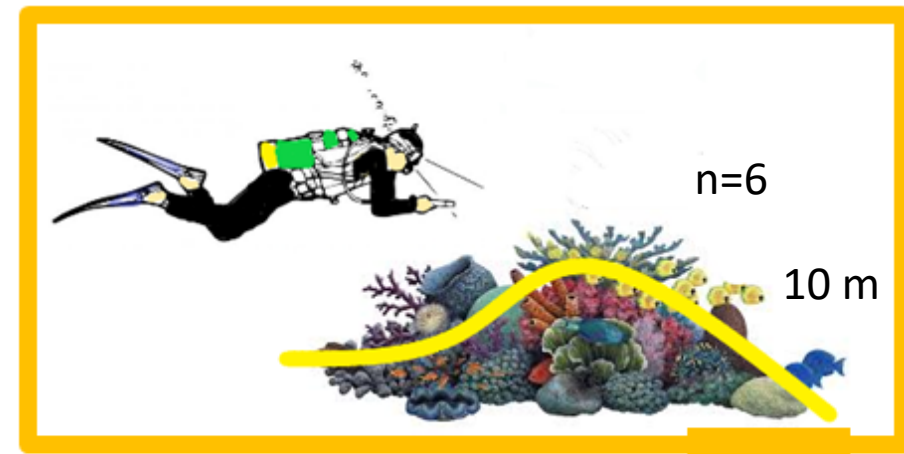
Es el tamaño de área muestreada, **el promedio del tamaño de los transectos** o cuadrantes que se utilizó para calcular el porcentaje de cobertura de coral y la rugosidad arrecifal.



Cuadrantes

Tamaño=1X1 m

Numero de repeticiones= 25



LIT

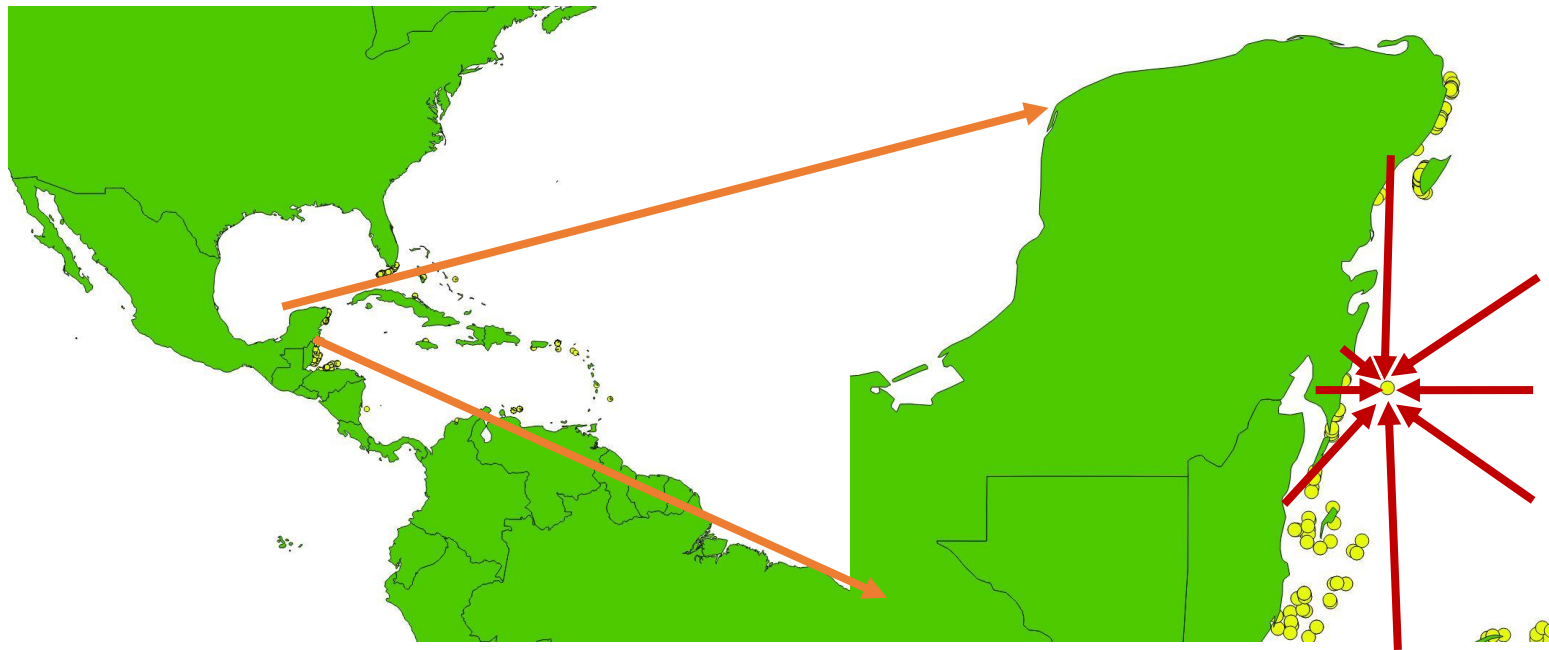
Tamaño=10 m

Numero de repeticiones= 6

Análisis exploratorio: descripción de variables arrecifales.

8. Fetch (grado de protección ante el oleaje).

El fetch (m) se define como la distancia de agua máxima sobre la cuál un viento puede soplar. Entre más fetch se esperan olas más energéticas.



El fetch se calculó con el paquete de “R” “Waver”.

La dirección del viento: norte, noreste, **este**, **sureste**, **sur**, suroeste y oeste.

Se utilizó la capa de America y la base de datos de las coordenadas de los sitios.

Análisis exploratorio: descripción de variables de huracanes

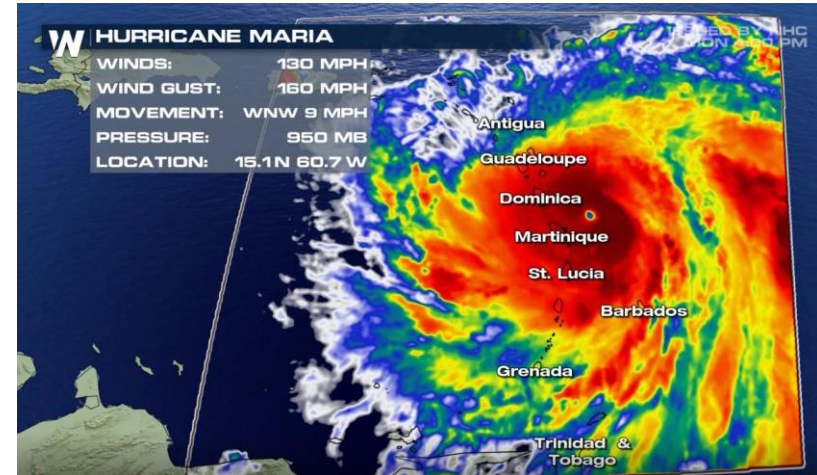
Las variables consideradas de los huracanes:

- 1. Intensidad del viento.**
- 2. Presión central**
- 3. Duración de la afectación**
- 4. Distancia mínima entre el huracán y la zona de estudio.**
- 5. Intensidad de la tormenta y la Máxima intensidad del huracán.**
- 6. Velocidad del viento al impacto**
- 7. Marea de tormenta**

Análisis exploratorio: descripción de variables de huracanes

1. Intensidad del viento

El viento promedio máximo por 1 minuto a una altura de 10 m sin obstrucciones asociado con el ciclón tropical. Medido en nudos (kt).



2. Presión central

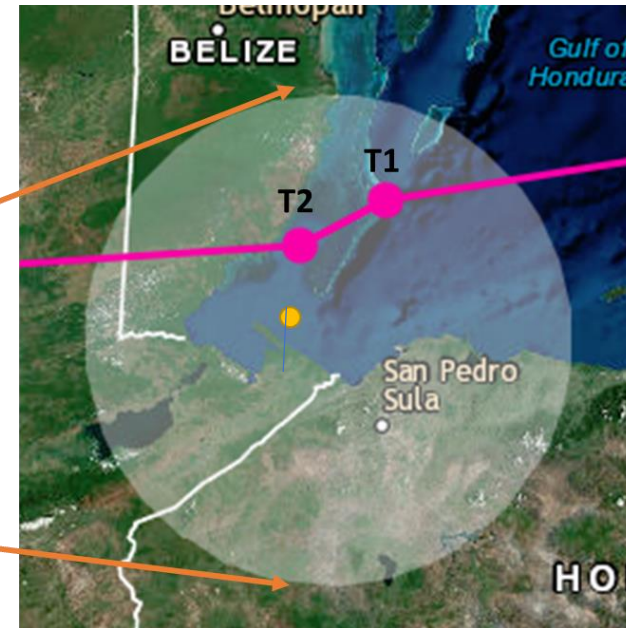
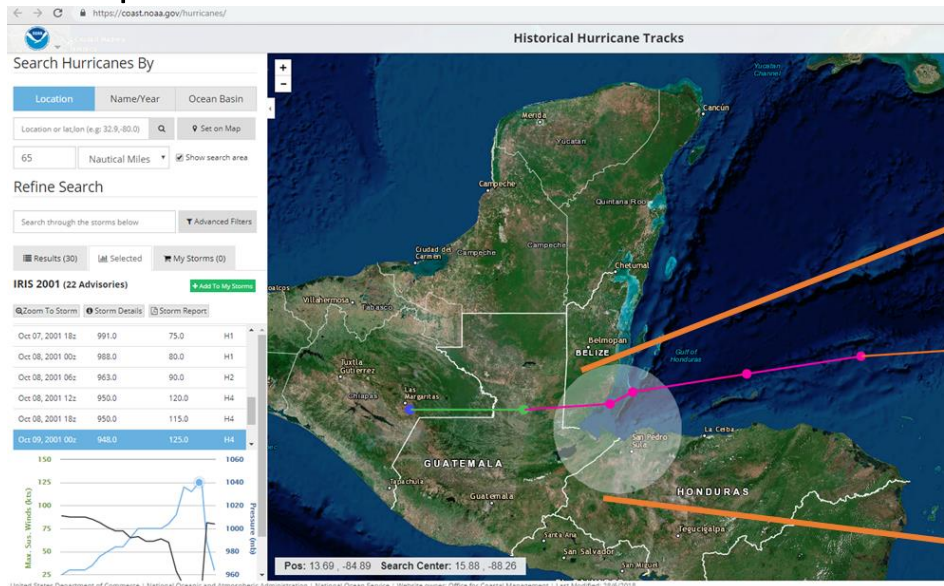
Presión en centro del huracán. Medido en milibares (mb).



Análisis exploratorio: descripción de variables de huracanes

3. Duración de la afectación.

La cantidad de capturas de huracán o “snapshots” que pasaron buffer de 100 km, cada captura corresponde a un intervalo de 6 horas.



4. Distancia mínima entre el huracán y la zona de estudio.

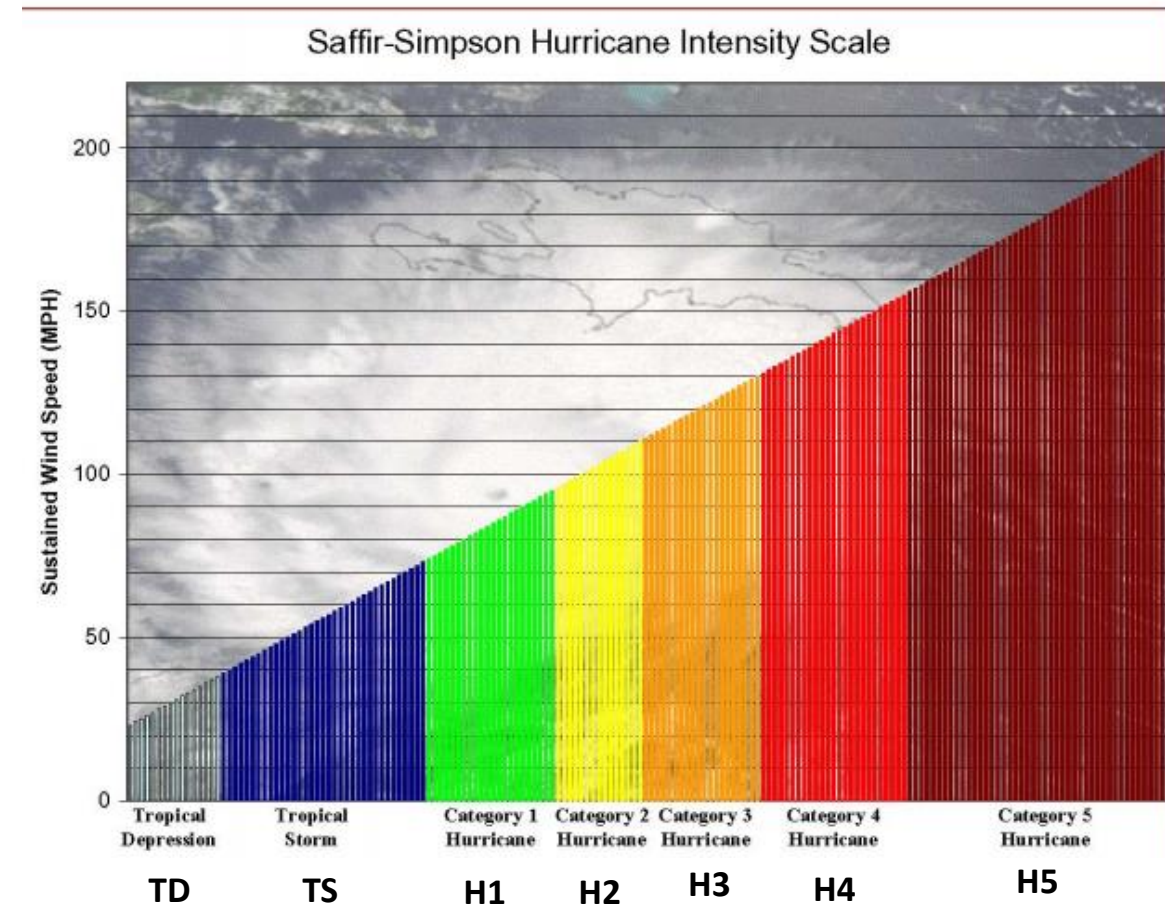
Distancia entre el sitio y el huracán.

Análisis exploratorio: descripción de variables de huracanes

5. Intensidad de la tormenta y máxima intensidad del huracán

- Los huracanes y tormentas se pueden clasificar en:

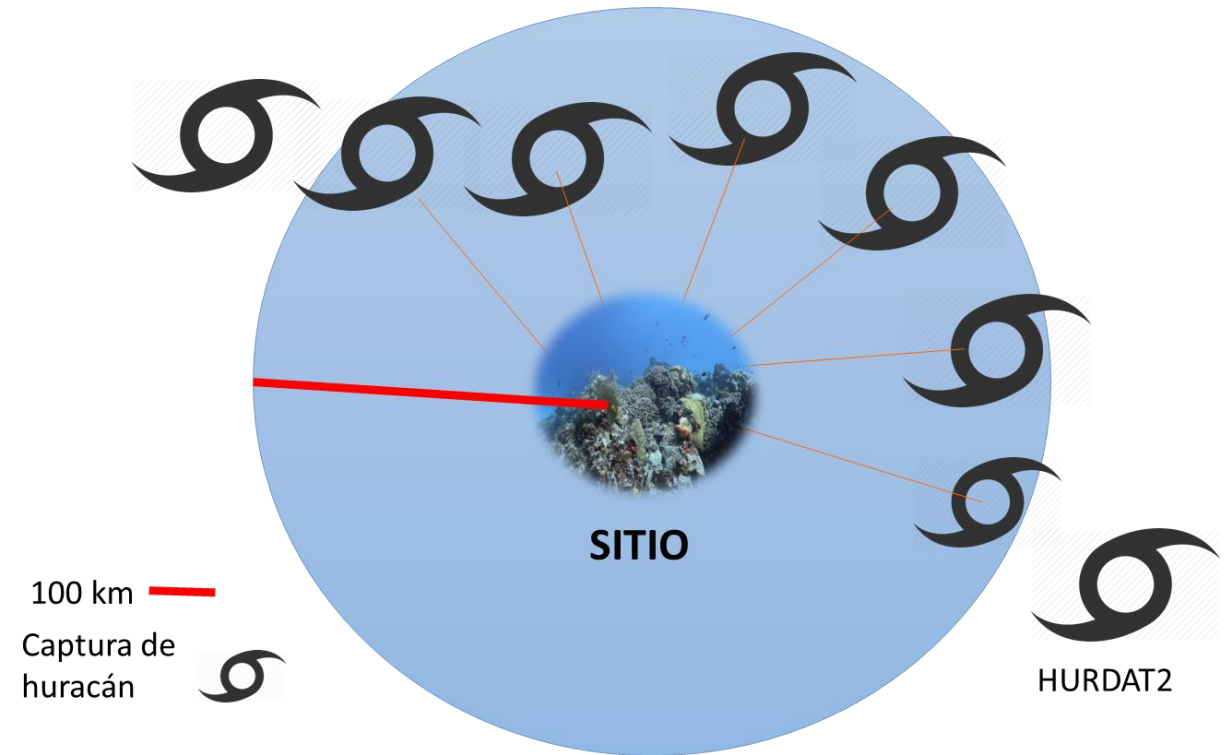
Tipo	Categoría	Velocidad del viento (kt)	Presión central (mb)
Depresión tropical	TD	>34	-----
Tormenta tropical	TS	34-63	-----
Huracán	H1	64-82	> 980
Huracán	H2	83-95	965-980
Huracán	H3	96-113	945-965
Huracán	H4	115-135	920-945
Huracán	H5	135-249	< 920



Análisis exploratorio: descripción de variables de huracanes

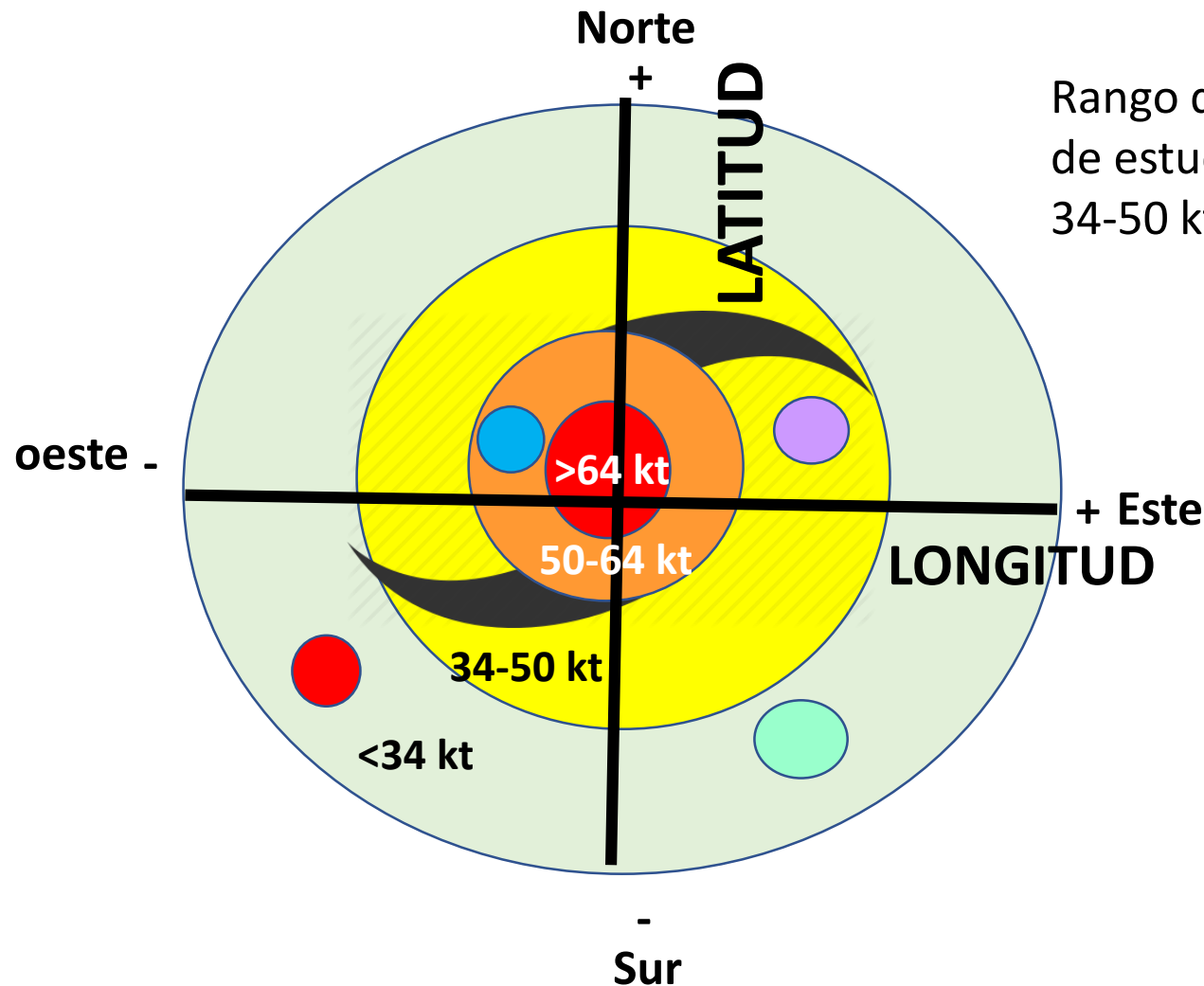
Se creó un buffer de 100 km alrededor del sitio de interés, con la base de datos de la NOAA se obtuvo los datos de:

- **1. Intensidad del viento (kt)**
- **2. Presión central (mb).**
- **3. Duración de la afectación (numero “snapshots”).**
- **4. Distancia mínima entre el huracán y la zona de estudio (m)**
- **5. Intensidad de la tormenta y Máxima intensidad del huracán**



Promedio ponderado por la inversa de la distancia de cada “snapshots” al sitio.

6. Velocidad del viento al impacto

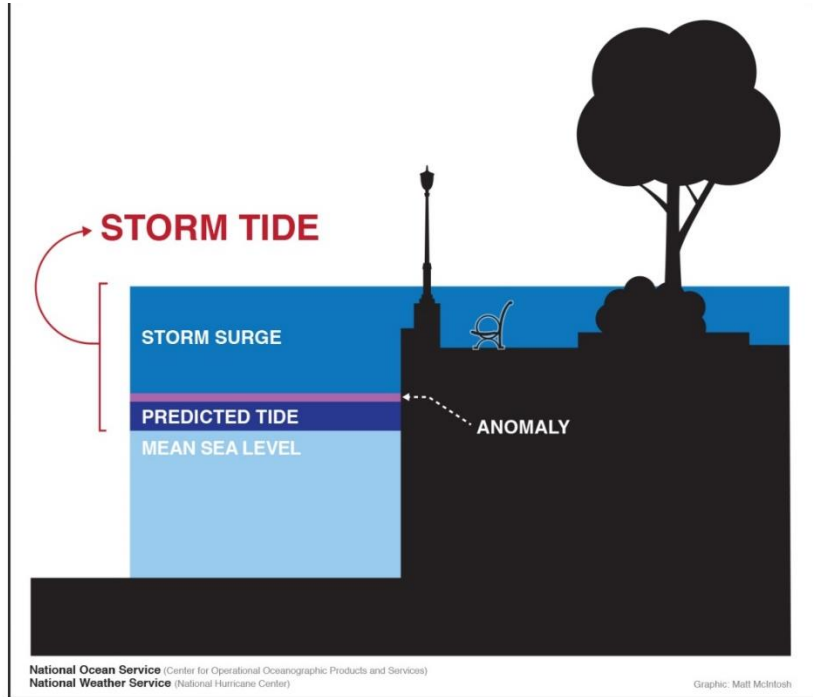


Rango de viento del huracán que pasó sobre de la zona de estudio. Dividido en las categorías de: <34 kt (verde), 34-50 kt (amarillo), 50-64 kt (naranja) y > 64 kt (rojo).

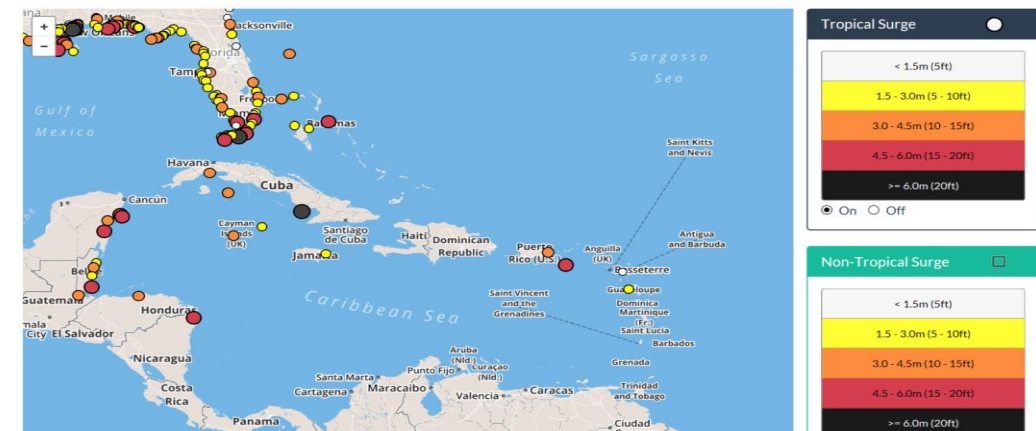
- NE= (Lat sitio > Lat huracán) y (Long sitio > log huracán)
- SE= (Lat sitio < Lat huracán) y (Long sitio > log huracán)
- NO= (Lat sitio > Lat huracán) y (Long sitio < log huracán)
- SO= (Lat sitio < Lat huracán) y (Long sitio < log huracán)

Análisis exploratorio: descripción de variables de huracanes

7. Marea de tormenta



Aumento sobre el nivel de agua normal en la costa abierta debido a la acción del estrés del viento sobre la superficie del agua, medida en metros (m).



Obtenida de base de datos: SURGEDAT:
The World's Storm Surge Data Center, base
que elaboró la Universidad Estatal de
Louisiana,

[SURGEDAT: The World's Storm Surge Data Center](https://www.surgedat.org/)

3. Análisis exploratorio: resumen de variables.

Variables del arrecife

1. Cobertura de coral inicial.
2. Rugosidad inicial.
3. Tipo de arrecife.
4. Zona arrecifal.
5. Profundidad del arrecife.
6. Exposición
7. Tamaño del arrecife.
8. Fetch (Grado de protección ante el oleaje).

Variables del huracán:

1. Intensidad del viento.
2. Presión central
3. Duración de la afectación
4. Distancia mínima entre el huracán y la zona de estudio.
5. Intensidad de la tormenta y la Máxima intensidad del huracán.
6. Velocidad del viento al impacto
7. Marea de tormenta

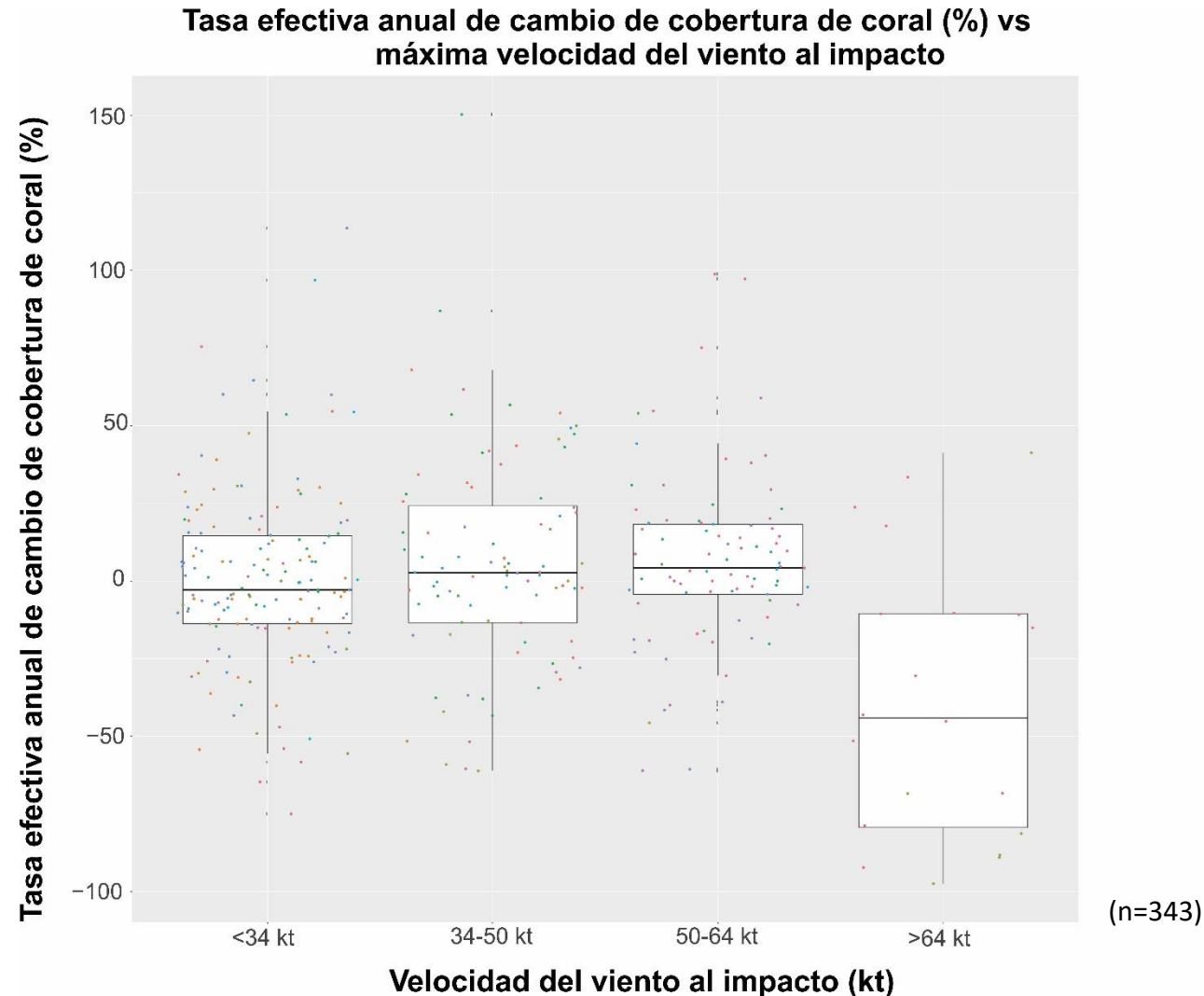
Variable		Relación aparente con la tasa de cambio de cobertura de coral con el daño arrecifal.	Relación aparente con la tasa de cambio de rugosidad con el daño arrecifal
Arrecifal	1. Cobertura de coral inicial.	Correlacionada	
	2. Rugosidad inicial.		Correlacionada.
	3. Tipo de arrecife.	No correlacionada	No correlacionada
	4. Zona arrecifal.	No correlacionada	No correlacionada
	5. Profundidad del arrecife.	No correlacionada	No correlacionada
	6. Exposición	Correlacionada	Correlacionada.
	7. Tamaño del arrecife.	No correlacionada	No correlacionada
	8. Fetch (Grado de protección ante el oleaje).	No correlacionada	No correlacionada
Huracán	1. Intensidad del viento.	Correlacionada	No correlacionada.
	2. Presión central	Correlacionada	No correlacionada
	3. Duración de la afectación	Correlacionada	No correlacionada
	4. Distancia mínima entre el huracán y la zona de estudio.	No correlacionada	No correlacionada
	5. Intensidad de la tormenta y la Máxima intensidad del huracán.	Correlacionada	No correlacionada
	6. Velocidad del viento al impacto	Correlacionada	Sin datos.
	7. Marea de tormenta	Correlacionada	No correlacionada

An underwater photograph of a coral reef. In the upper right, a diver's legs and fins are visible. The reef is covered with various types of coral, including large, rounded, yellowish-brown corals and some branching corals. A semi-transparent white rectangular box is overlaid on the lower half of the image, containing the text "Cobertura de coral".

Cobertura de coral

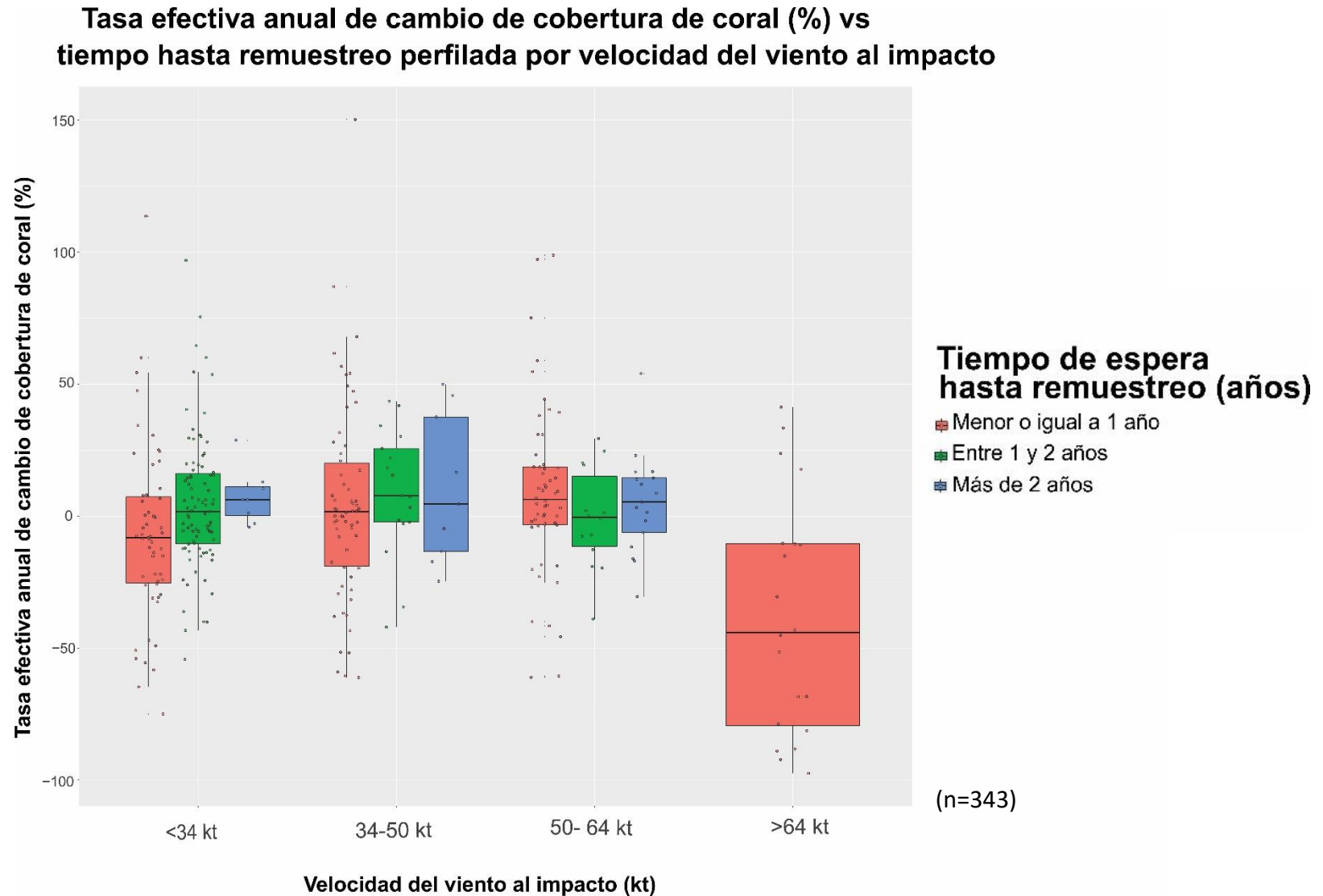
Velocidad del viento al impacto

Velocidad de viento al impacto mayor a 64 nudos provoca mayor daño a la cobertura de coral después del paso de un huracán.



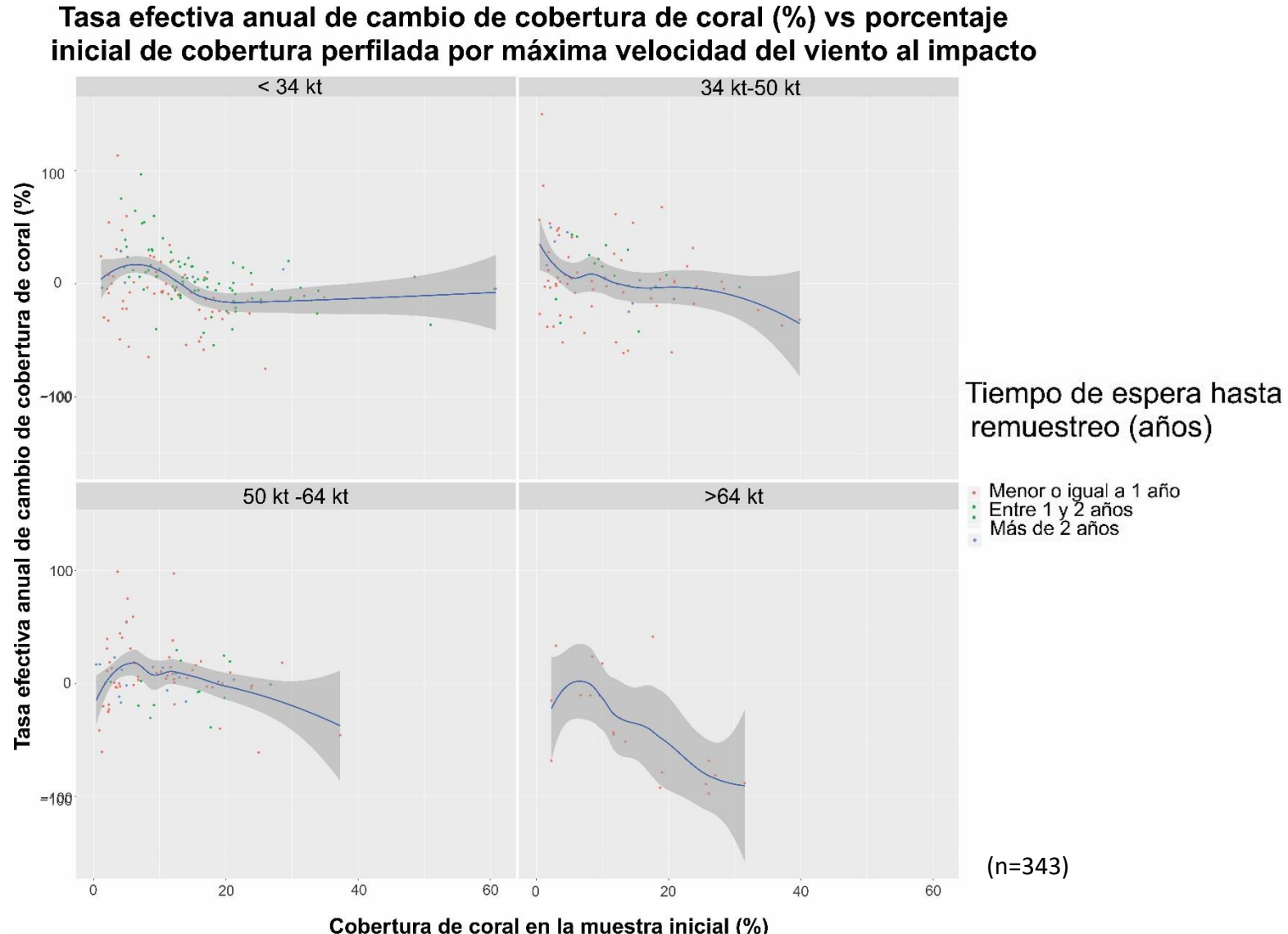
Velocidad del viento al impacto

Hay un mayor daño a velocidades de viento al impacto mayores a 64 kt, antes de 1 año de remuestreo.



Cobertura inicial.

En vientos con velocidades entre 34-50 kt, 50-64 kt y mayores a 64 kt se observa una tasa efectiva de cambio de cobertura de coral (%) negativa a mayor cobertura de coral inicial(%).

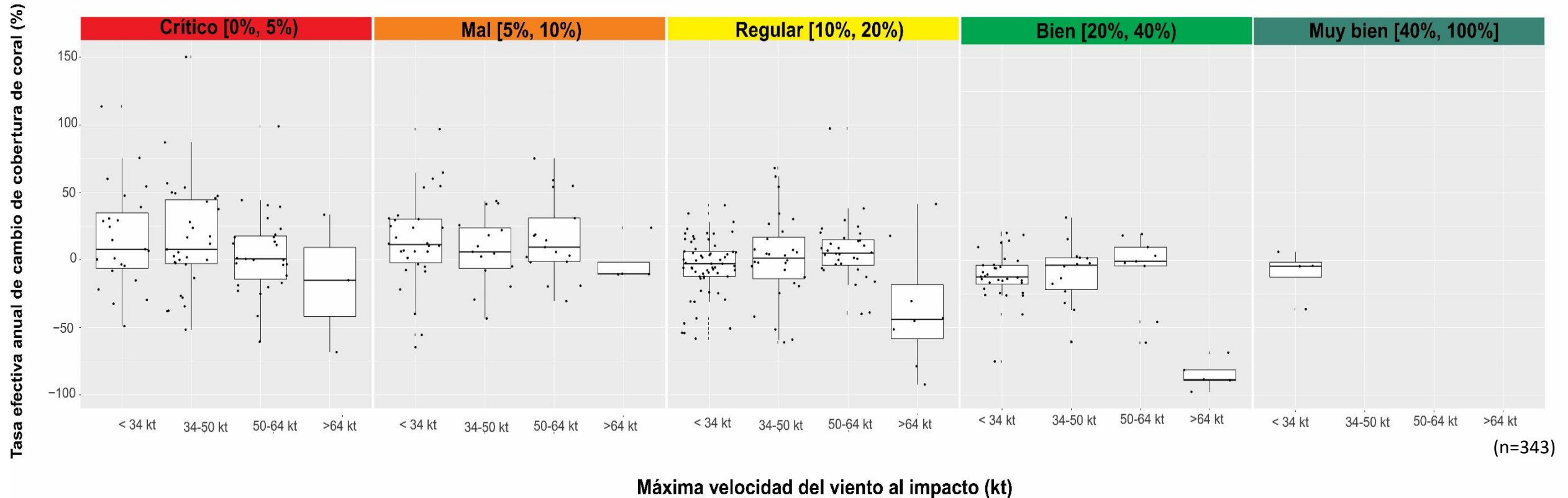


Cobertura inicial.

Arrecifes con buena cobertura de coral sufren más daño con vientos al impacto mayores a 64 nudos.

Agrupado la cobertura de coral inicial en los valores de los indicadores de salud arrecifal de arrecifes saludables, en todos los rangos velocidades de viento al impacto mayores de 64 nudos hay perdida la cobertura de coral, pero el cambio es mayor en coberturas iniciales de 20-40%.

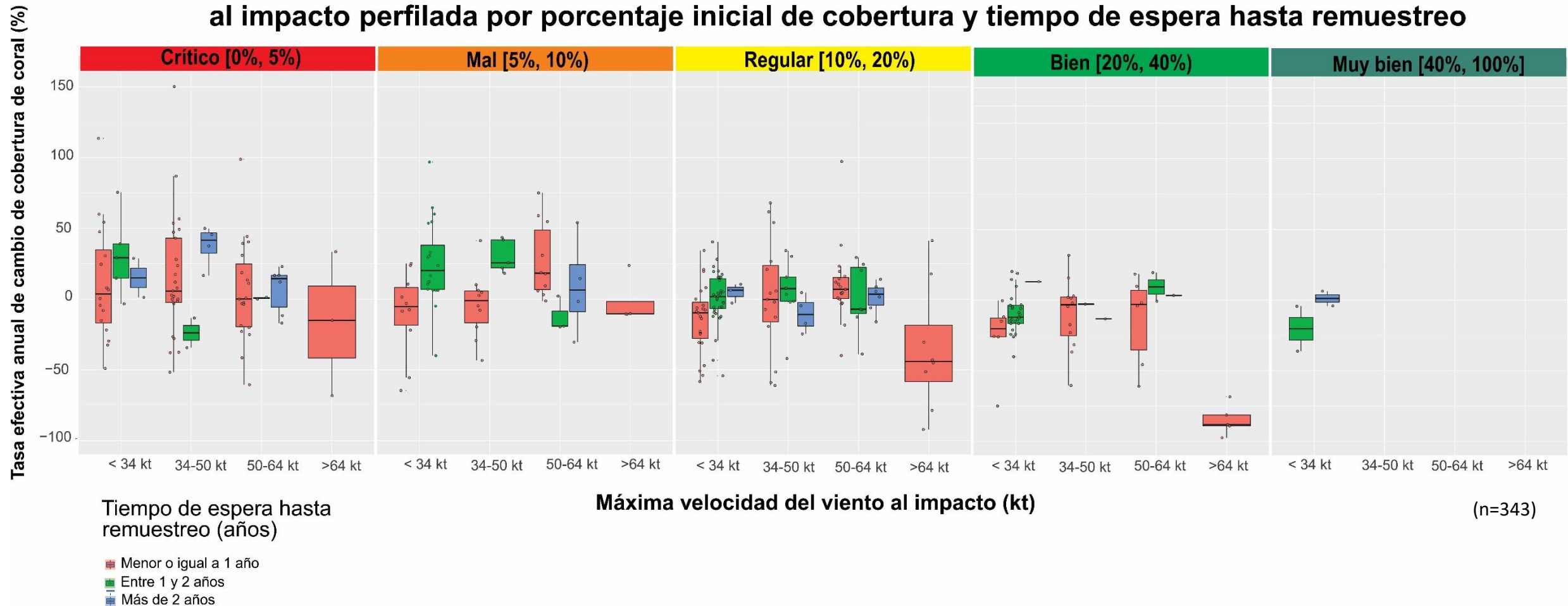
Tasa efectiva anual de cambio de cobertura vs máxima velocidad del viento al impacto perfilada por porcentaje inicial de cobertura



Cobertura inicial.

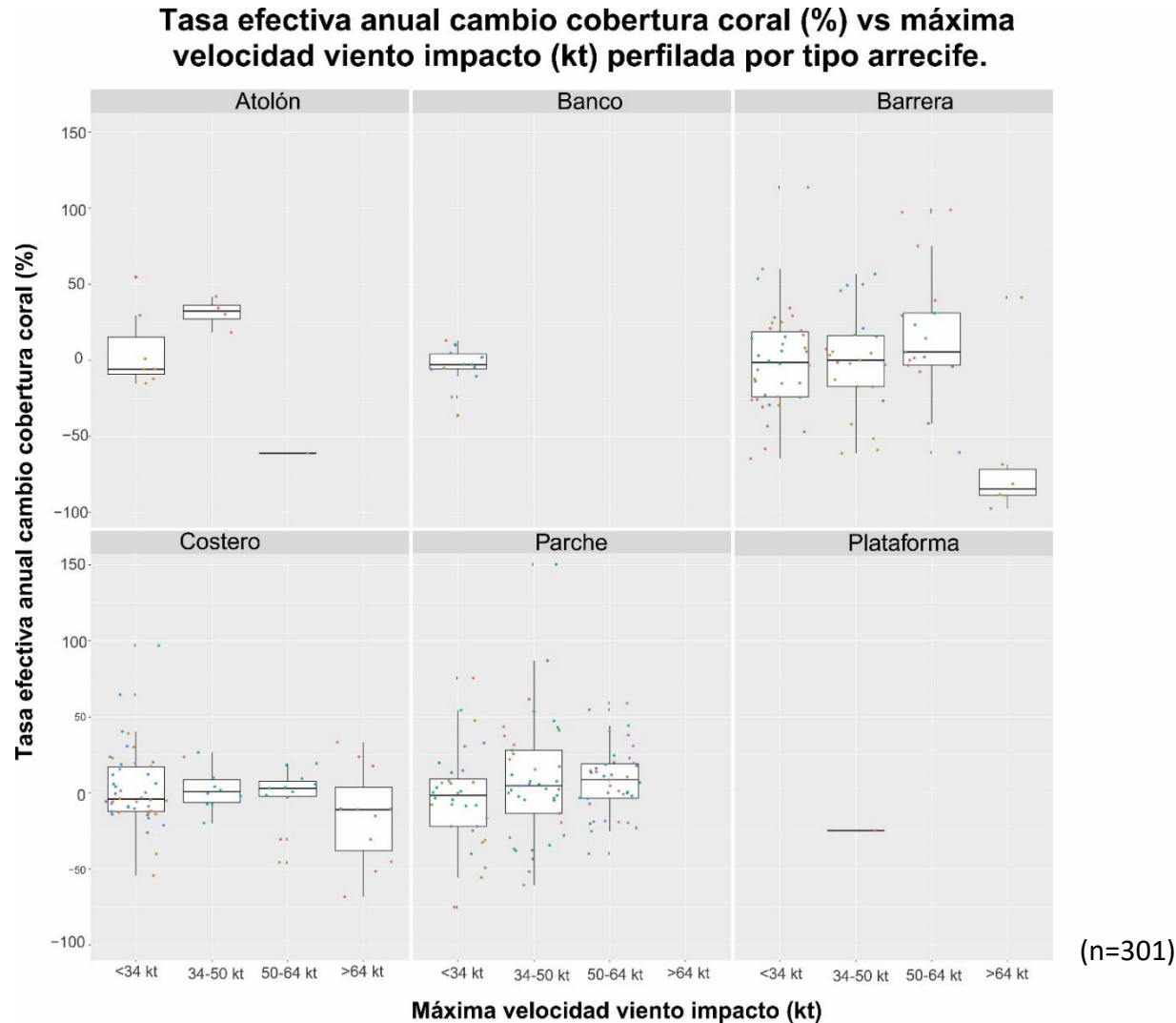
El tiempo de remuestreo para los sitios afectados a velocidad de máximo viento al impacto es menor a 1 año.

Tasa efectiva anual de cambio de cobertura de coral (%) vs máxima velocidad del viento al impacto perfilada por porcentaje inicial de cobertura y tiempo de espera hasta remuestreo



Tipo de arrecife

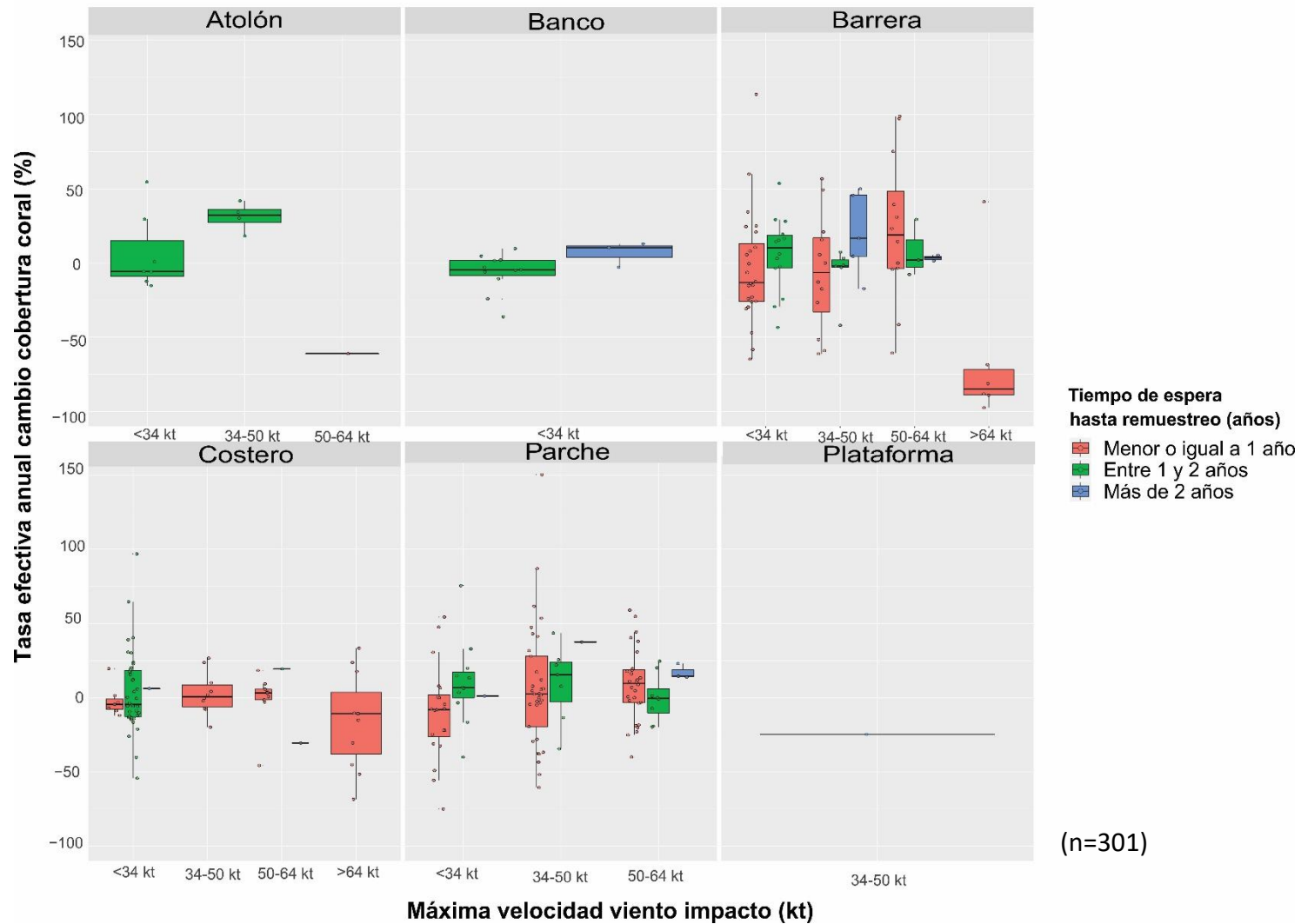
Tipo de arrecife aparentemente no tiene correlación, los tipo costero tienen intervalos de confianza tan grandes que no se le puede atribuir el efecto a la máxima velocidad de viento al impacto y los tipo barrera son 6 sitios impactados por un solo huracán.



Tipo de arrecife

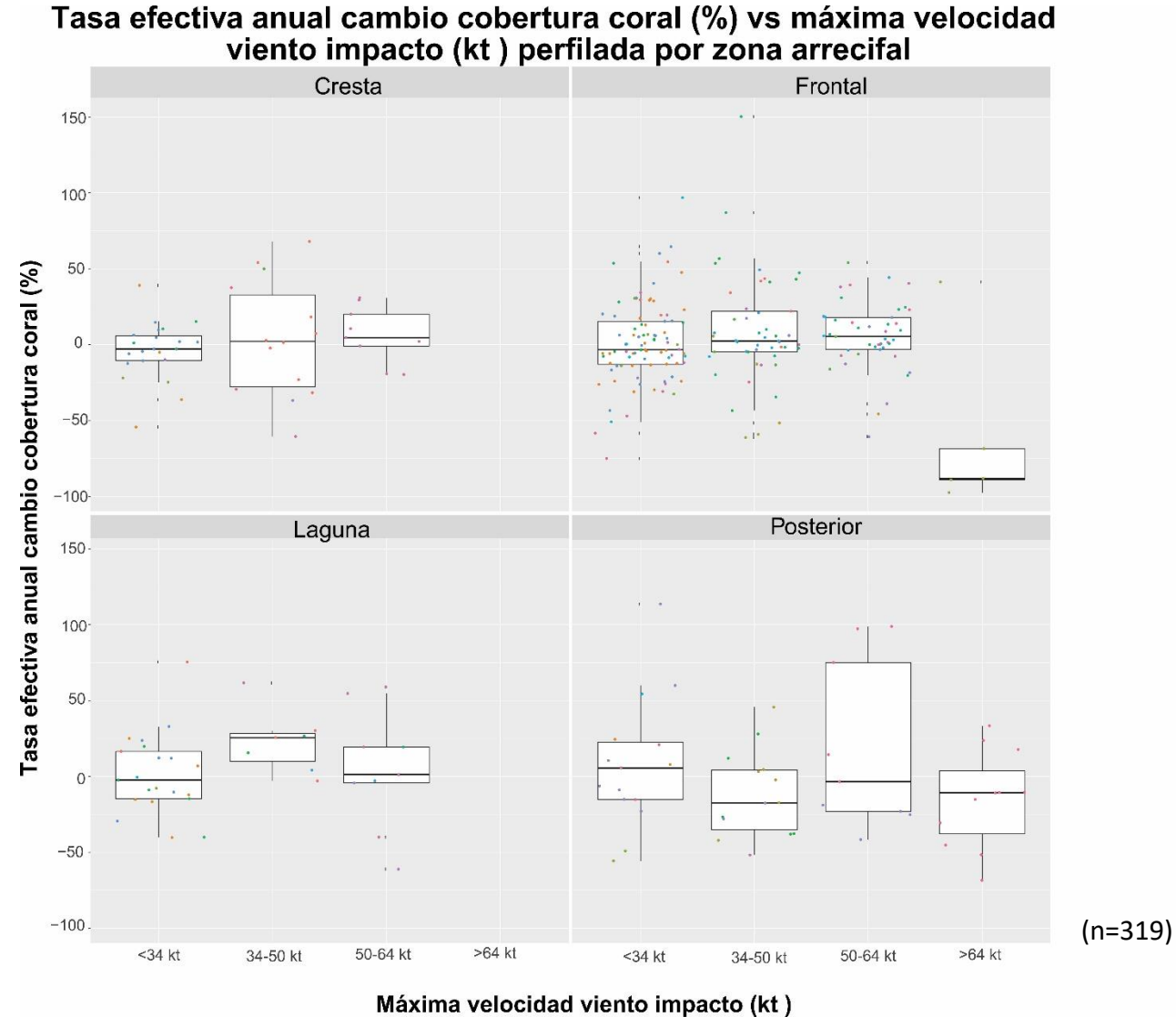
Arrecifes tipo barrera aparentemente responden igual a vientos mayores a 64 kt

Tasa efectiva anual cambio cobertura coral (%) vs máxima velocidad viento impacto (kt) perfilada por tipo arrecife y tiempo de remuestreo.



Zona de arrecife

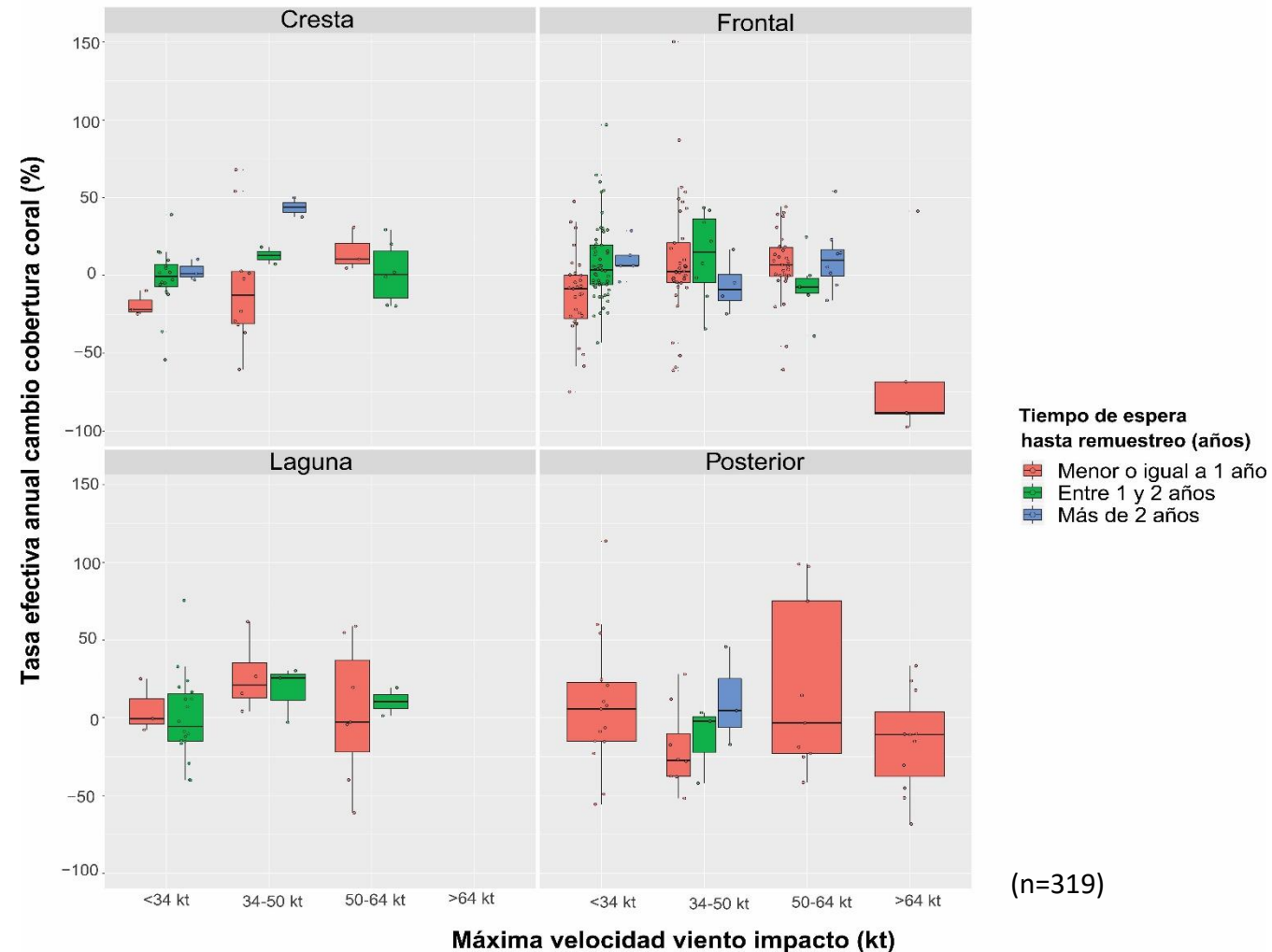
Aparentemente la zona arrecifal no tiene correlación el daño arrecifal, en los arrecifes frontales son 5 sitios afectados por un solo huracán.



Zona de arrecife

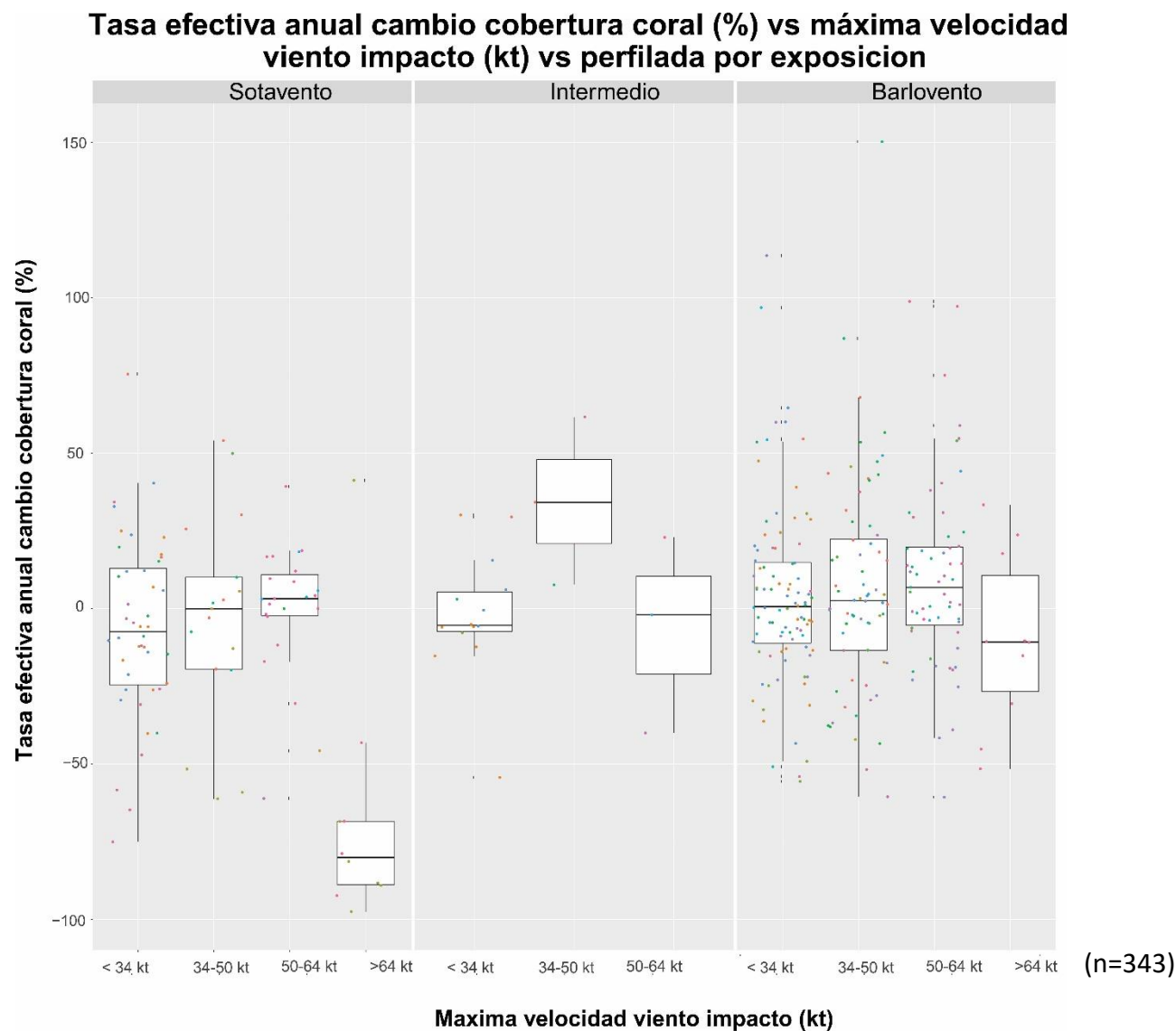
Aparentemente los arrecifes frontales y posteriores tienen mayor daño a velocidades > 64 kt.

Tasa efectiva anual cambio cobertura coral (%) vs máxima velocidad viento impacto (kt) perfilada por zona arrecifal y tiempo de remuestreo.



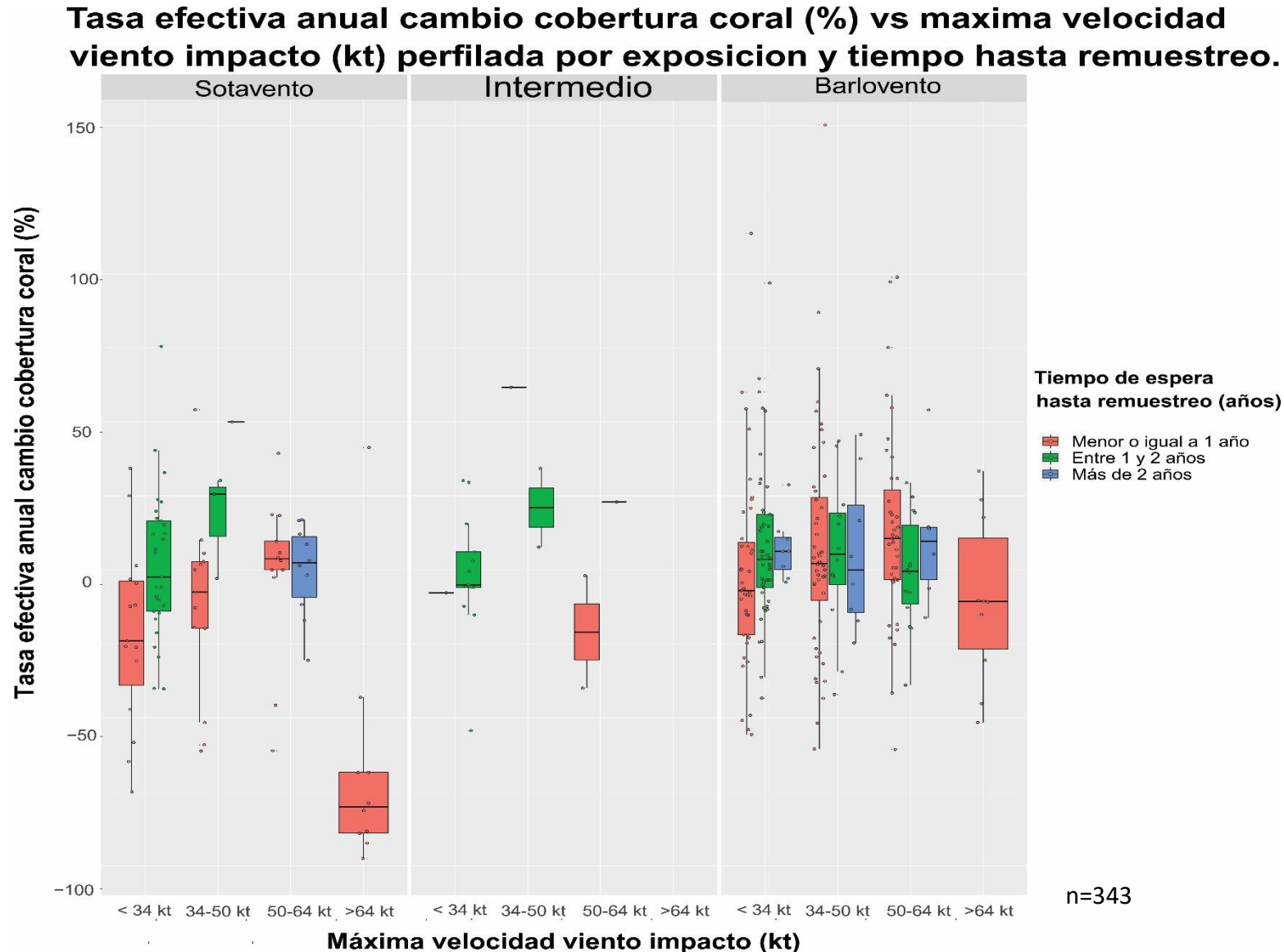
Exposición

Arrecifes con menor exposición, en sotavento, tienen mayor afectación que arrecifes que están expuestos, barlovento. Posiblemente por el tipo de corales que hay en la zona.



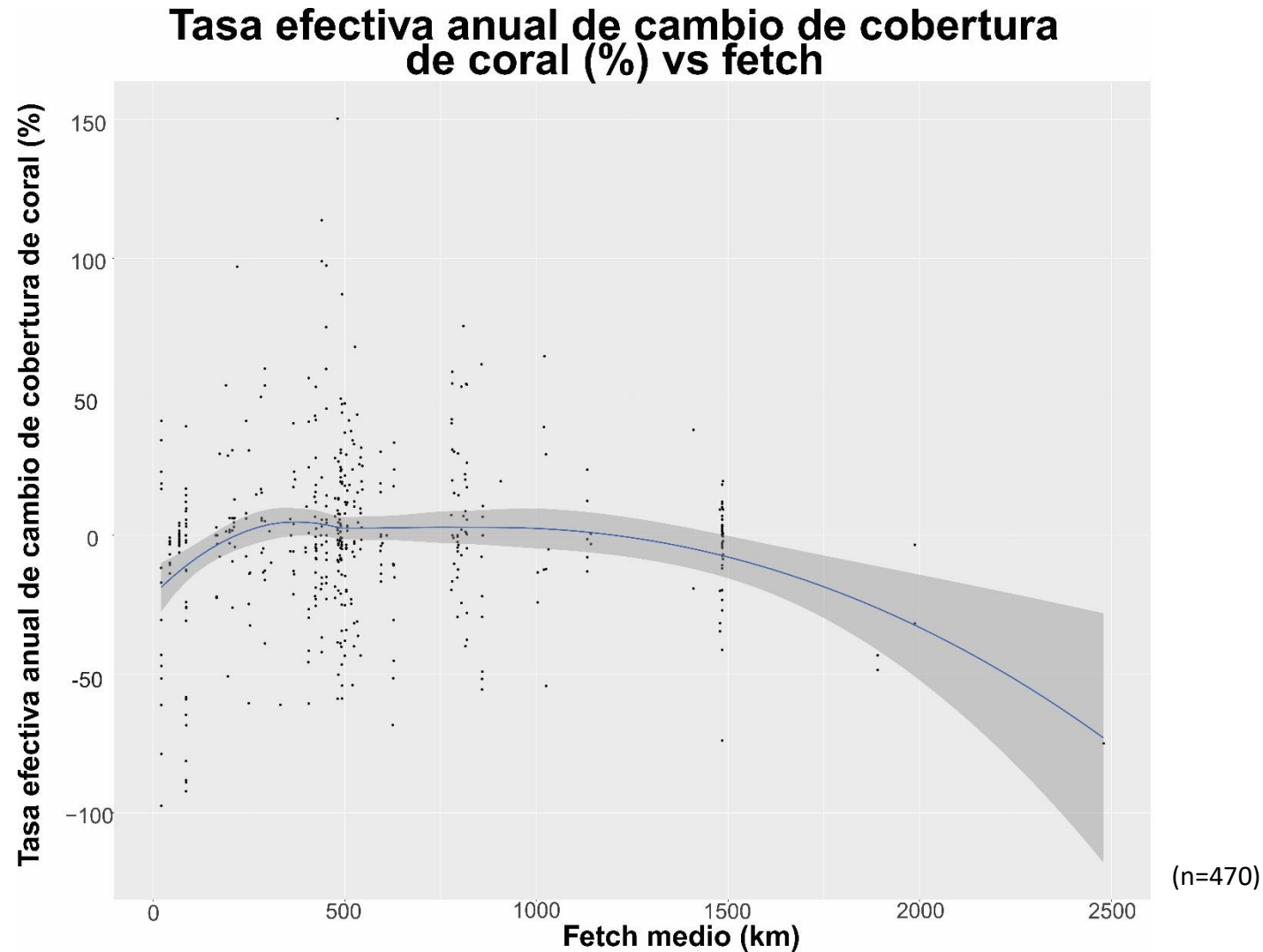
Exposición

El tiempo de remuestreo para los sitios afectados en barlovento y sotavento a velocidad de máximo viento al impacto es menor a 1año.



FETCH

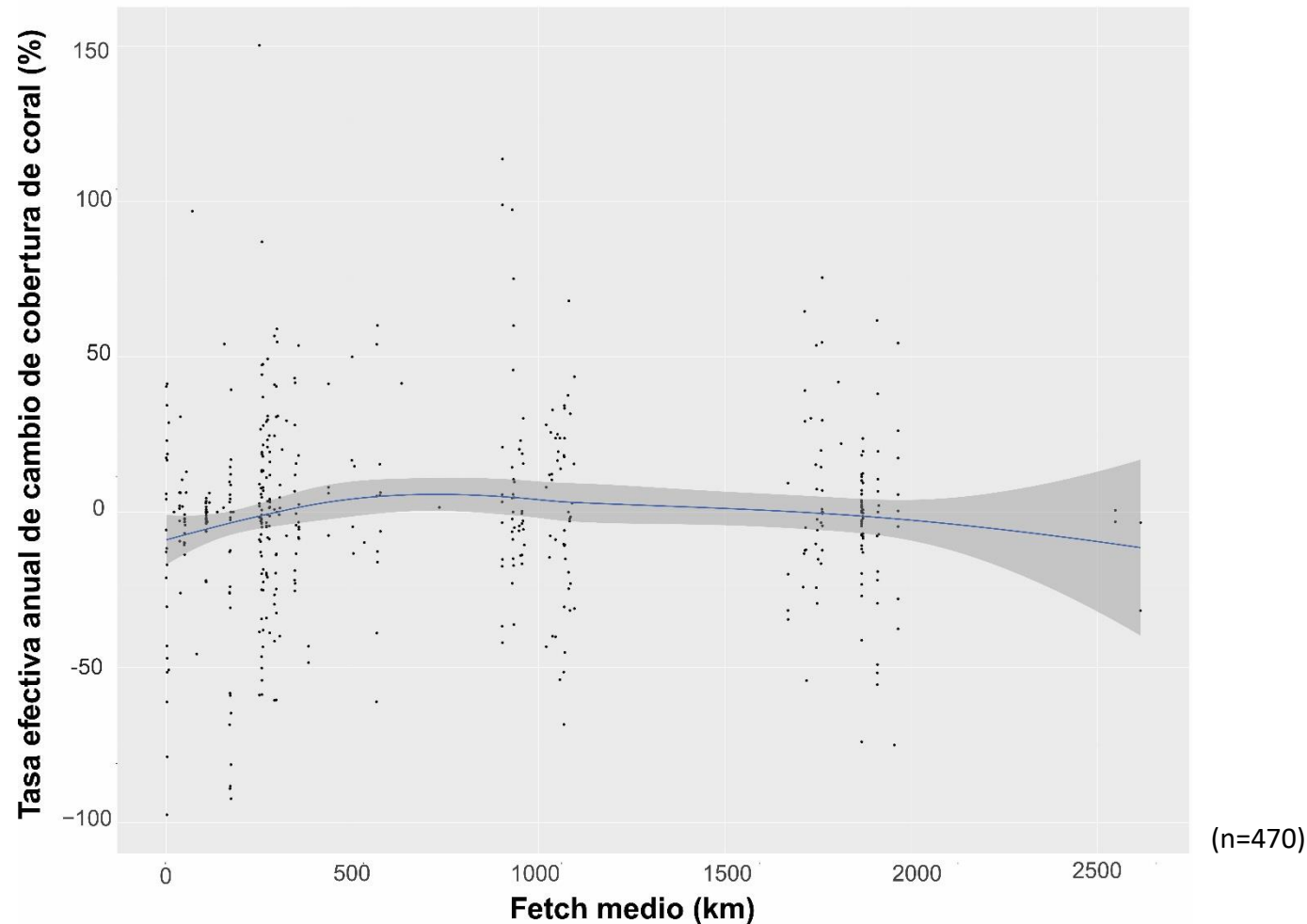
La tasa efectiva anual de cambio se ve afectada a fetch promedio mayor a 1500 km, con dirección del viento: norte, noreste, **este**, **sureste**, **sur**, suroeste y oeste.



FETCH

El fetch se filtró solo a las direcciones de viento: **este, sureste, sur**. Estas direcciones no se ven correlacionadas con el daño arrecifal.

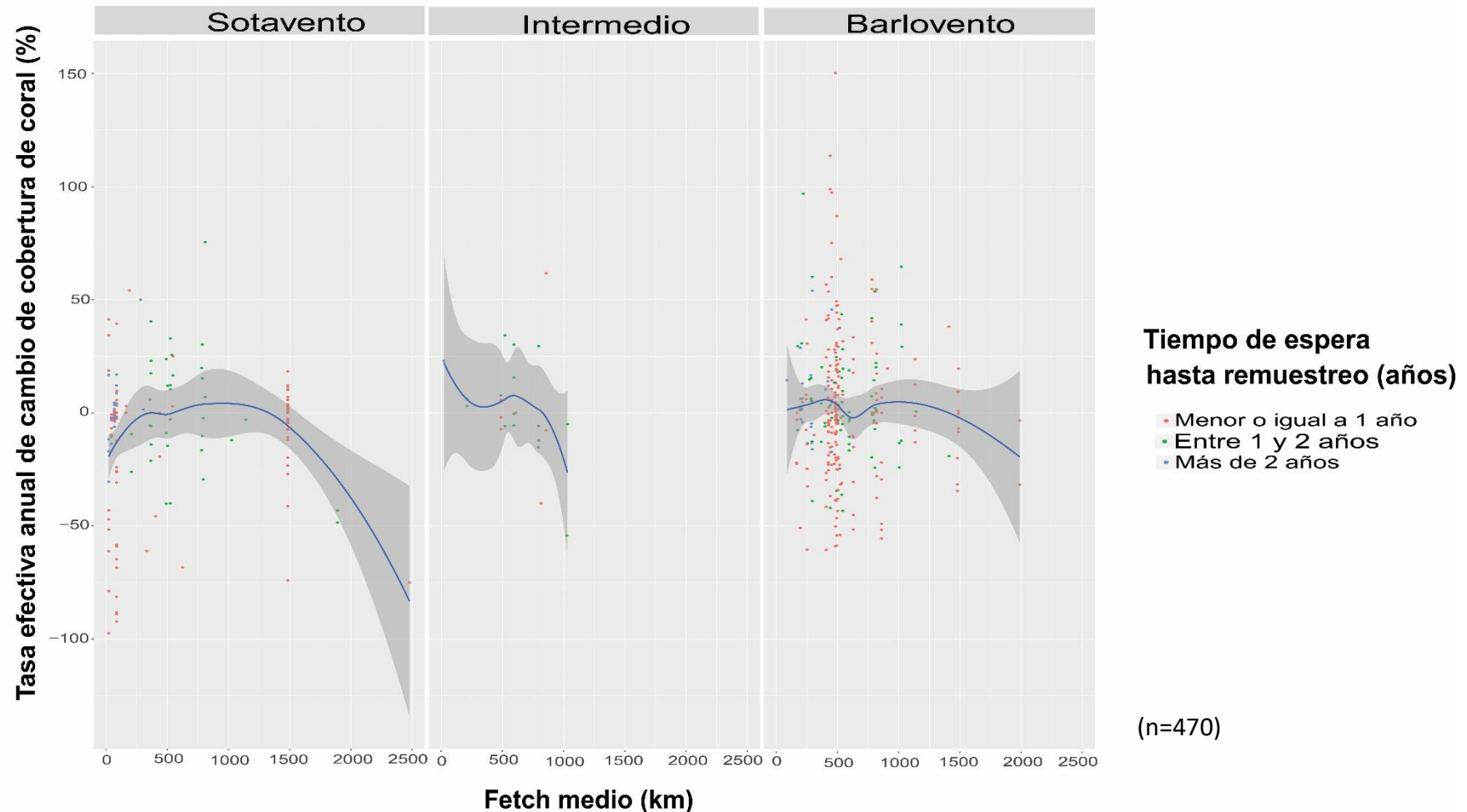
**Tasa efectiva anual cambio cobertura coral
vs fetch este/sureste/sur medio (km).**



FETCH

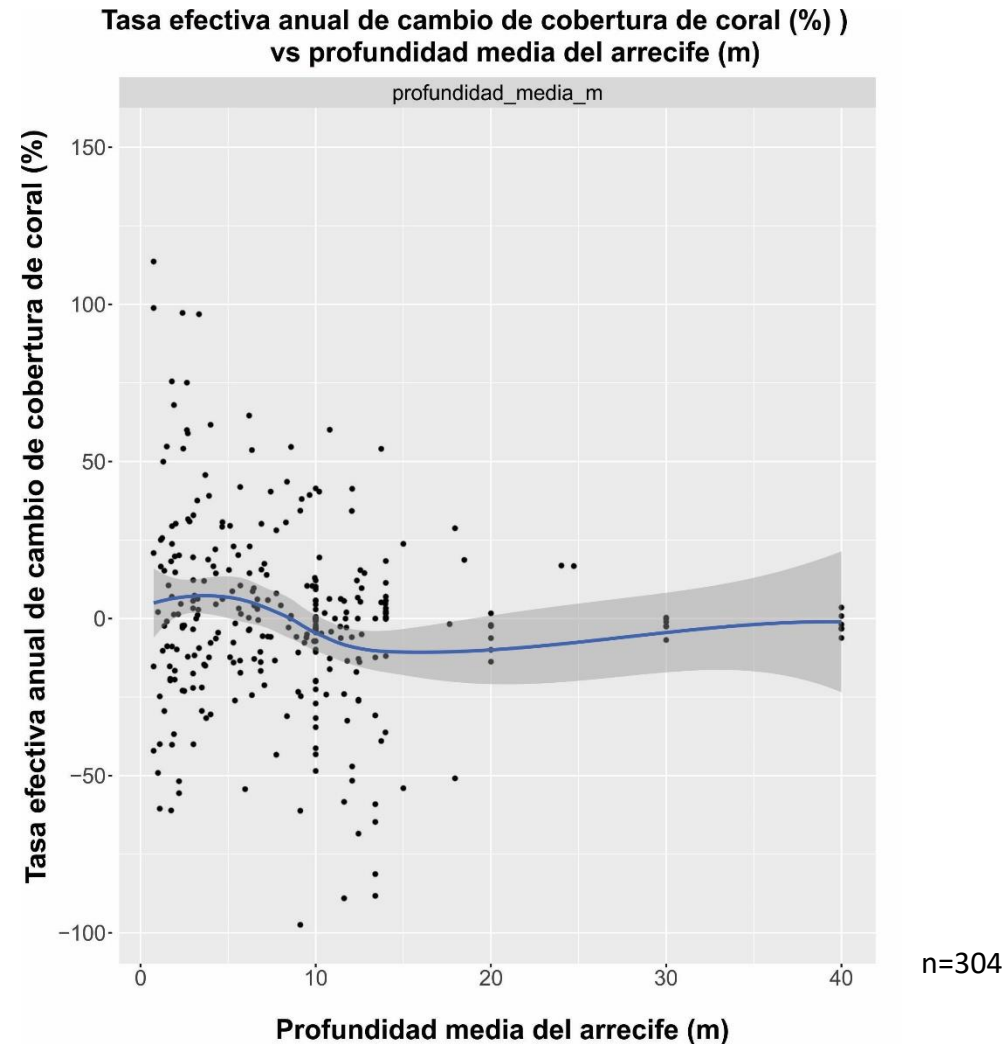
A mayor fetch sitios en el sotavento (menos expuestos), tienen tasas efectivas de cambio de cobertura de coral negativas de hasta el 100% anual. Posiblemente se deba al tipo de corales de la zona.

Tasa efectiva anual de cambio de cobertura de coral (%) vs fetch perfilada por exposición



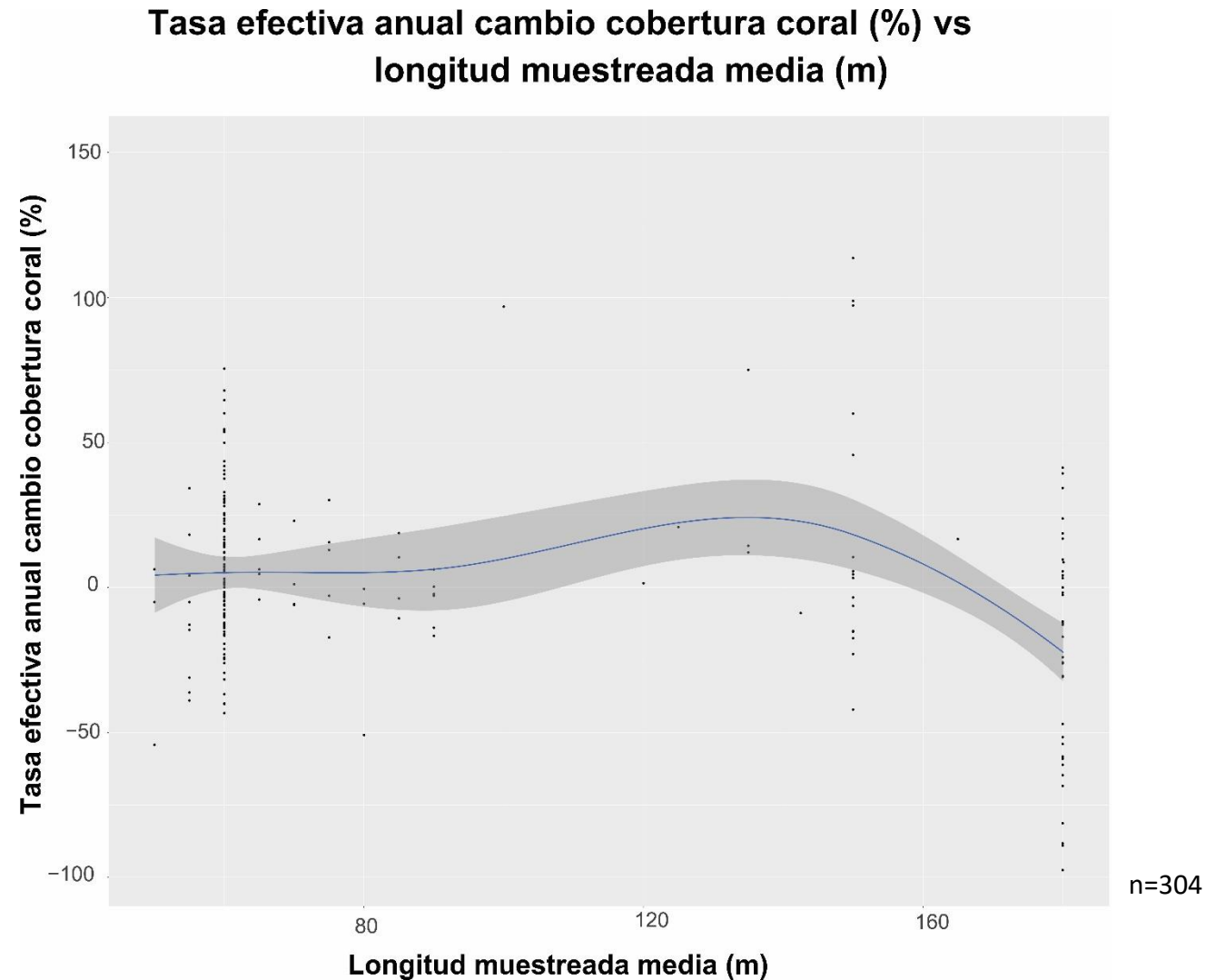
Profundidad del arrecife.

La profundidad media del arrecife No tienen correlación con el daño arrecifal, ya que no hay cambio en la cobertura de coral ni en la rugosidad.



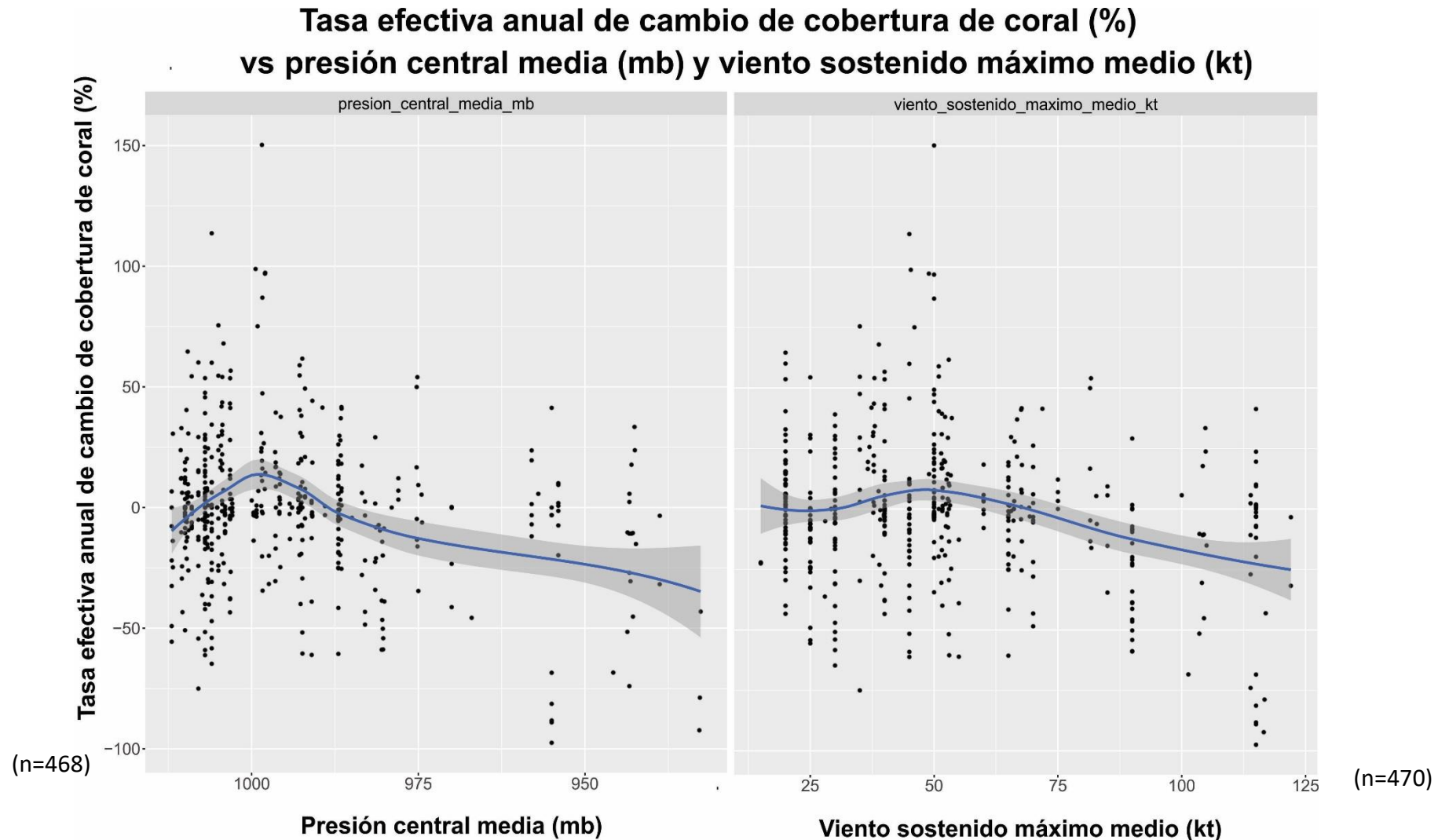
Tamaño del arrecife.

El tamaño de muestreo no tiene correlación con el daño arrecifal en cobertura de coral.



Intensidad del viento y presión central

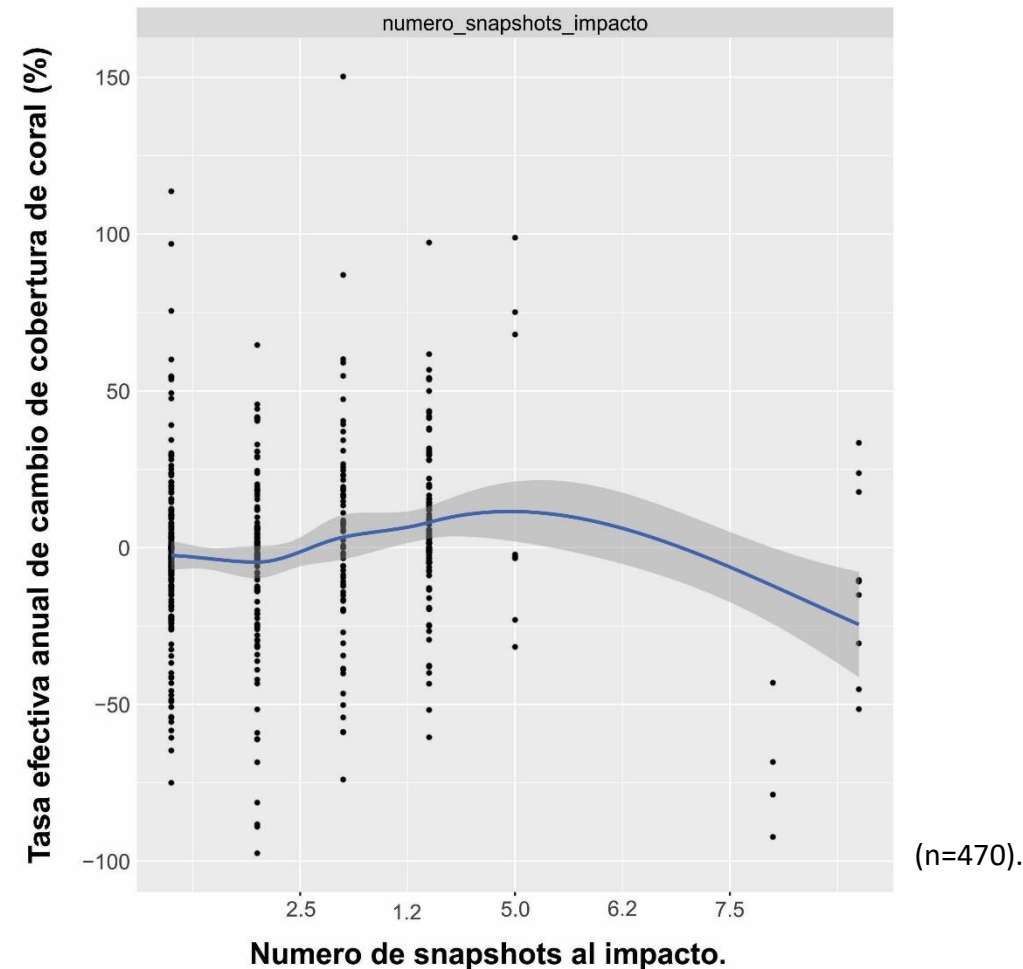
A una menor presión central (mb), existe un mayor daño en la cobertura de coral.
En general, a mayor intensidad de viento sostenido (kt), mayor daño en la cobertura de coral.



DURACIÓN DE LA AFECTACIÓN

Entre más mas tiempo pasa el huracán en un sitio es mayor el daño a la cobertura de coral.

**Tasa efectiva anual de cambio de cobertura de coral (%)
vs numero de snapshot al impacto.**



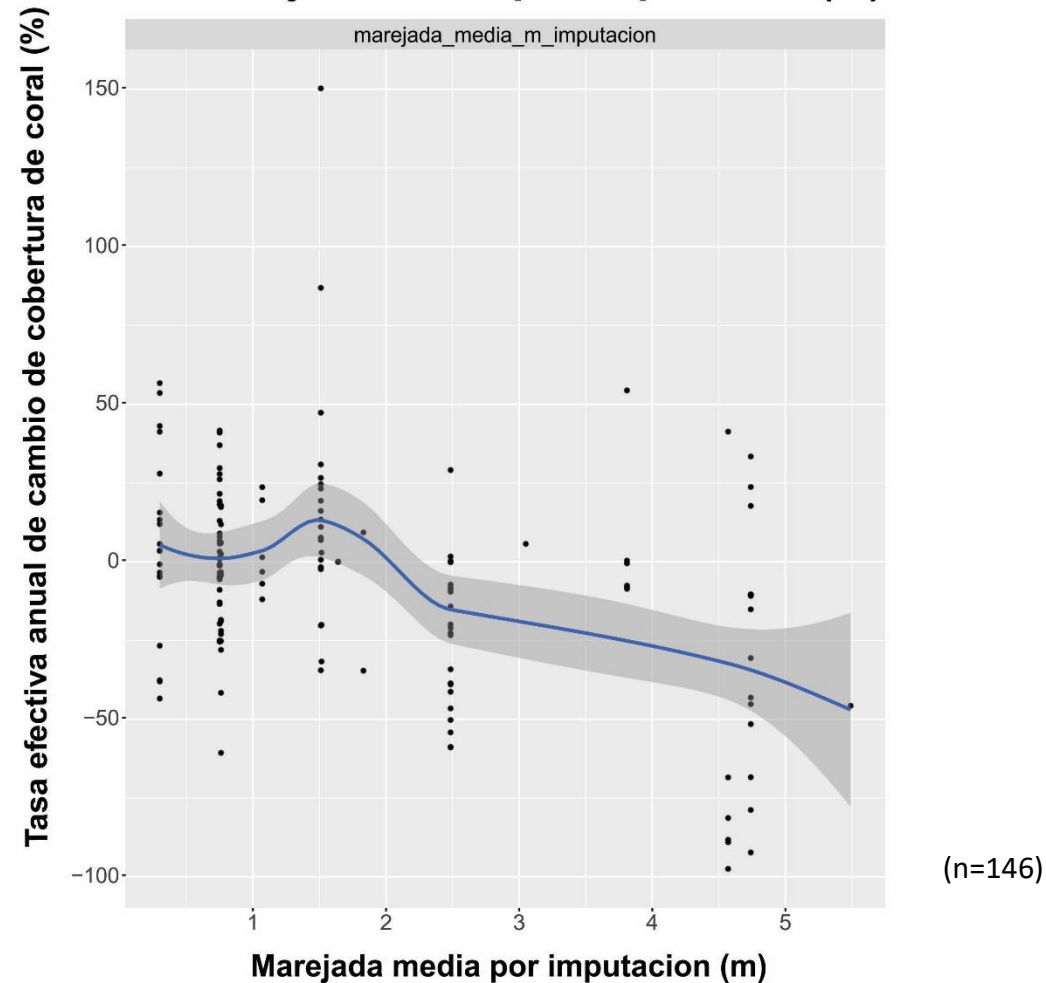
1 snapshots= 6 horas

(n=470).

MAREA DE TORMENTA

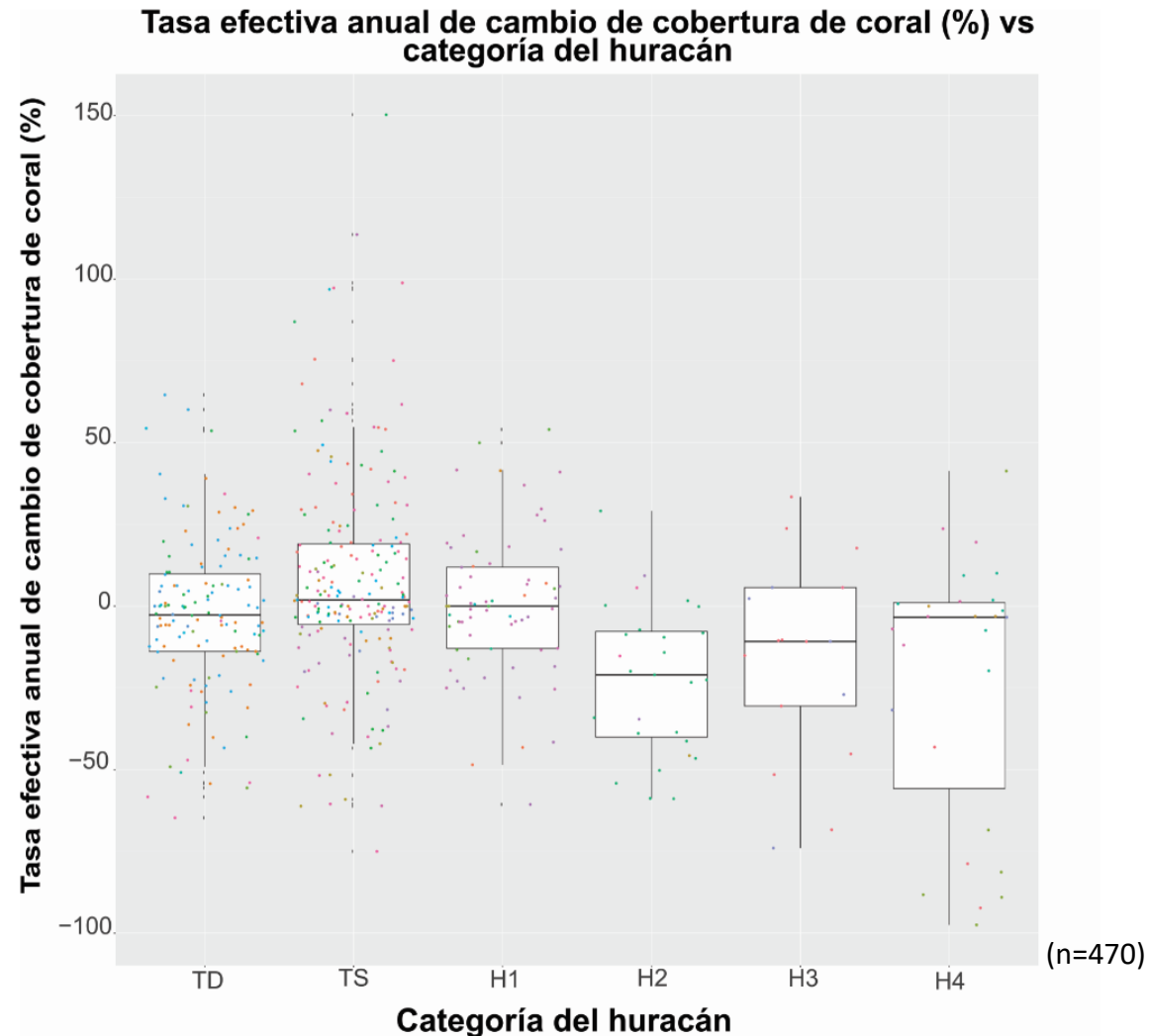
Entre más grande sea la marejada media (m), esta correlacionada con mayor daño arrecifal.

**Tasa efectiva anual de cambio de cobertura de coral (%)
vs marejada media por imputacion (m)**



Intensidad de la tormenta y la máxima intensidad del huracán.

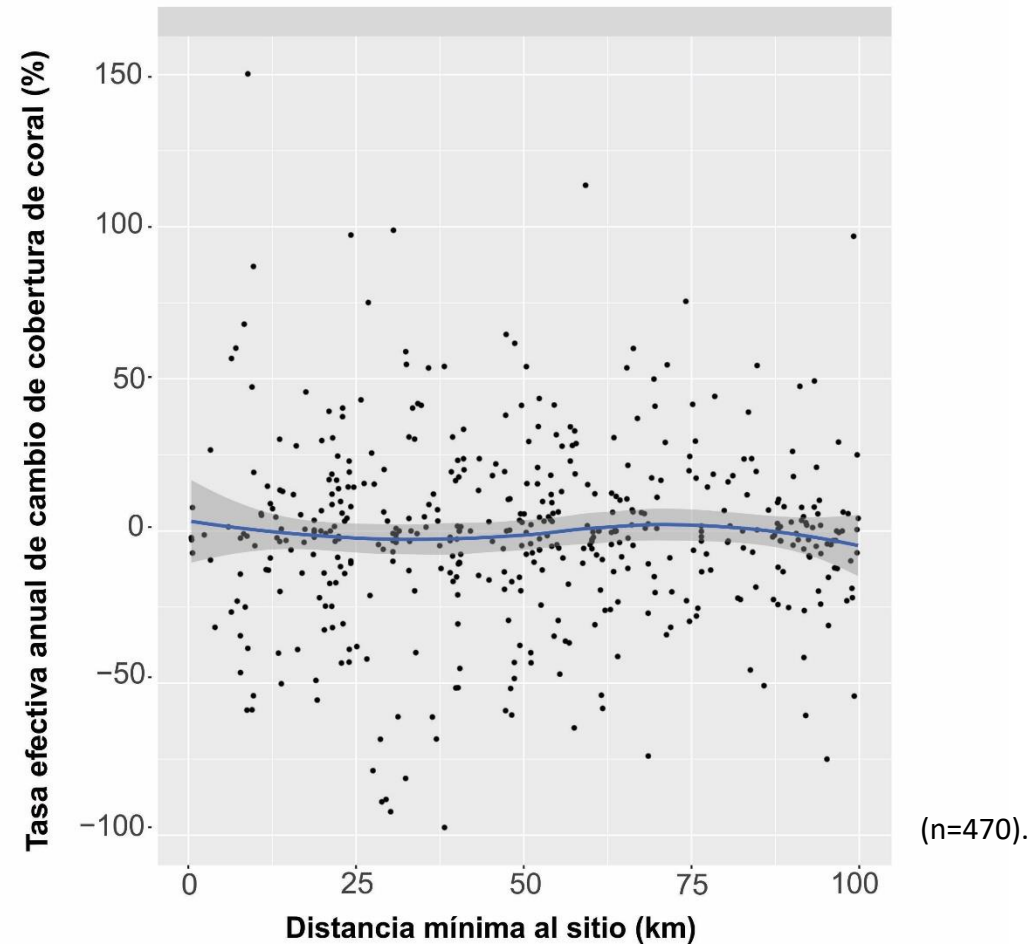
La velocidad de viento al impacto explicó mejor la tasa efectiva anual de cambio de la cobertura de coral y se utilizó en lugar de la categoría de huracán.



Distancia mínima entre el huracán y la zona de estudio.

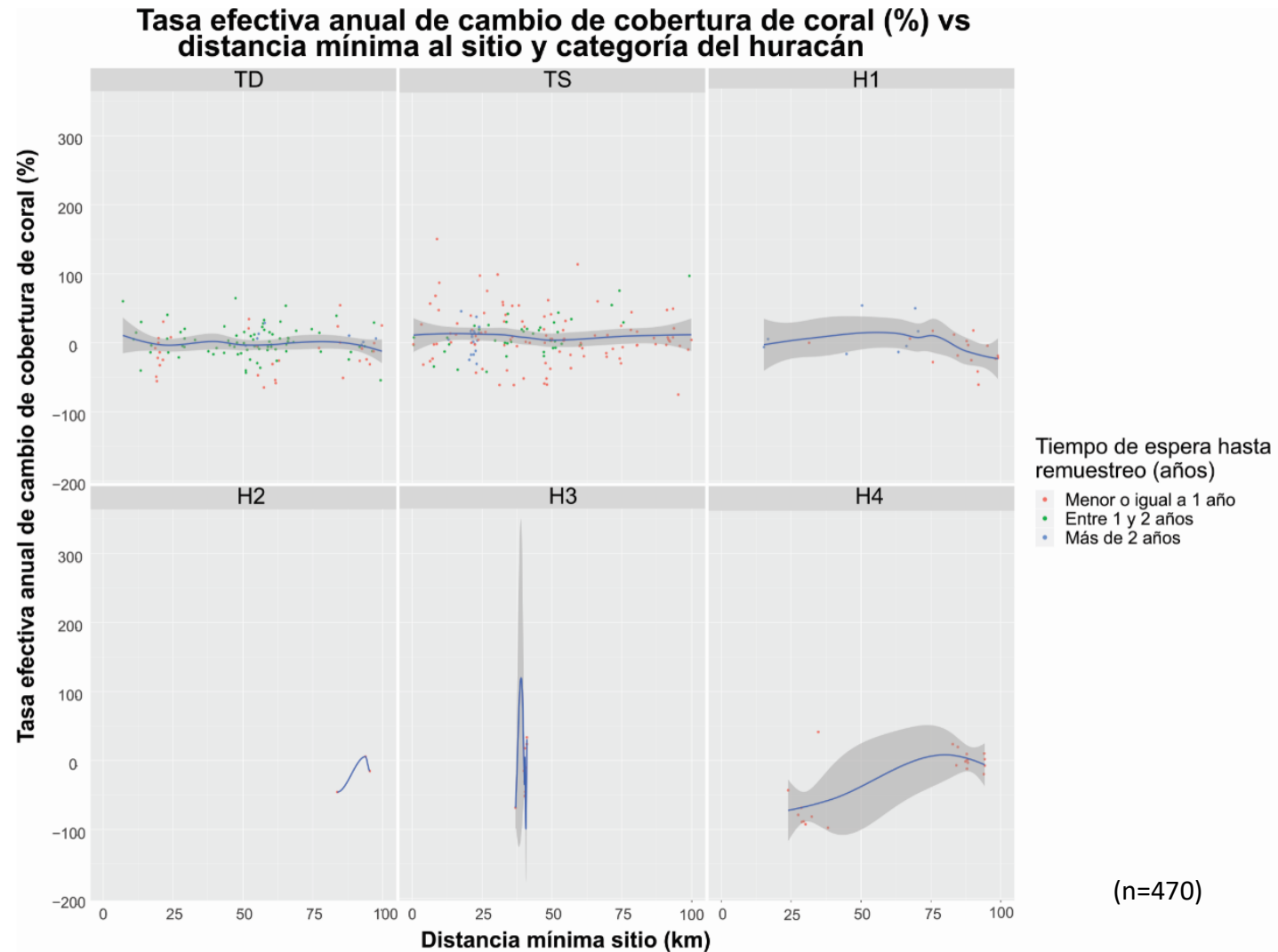
La distancia media del ojo del huracán al sitio No tiene correlación con el daño arrecifal, ya que no hay cambio en la cobertura de coral.

**Tasa efectiva anual de cambio de cobertura de coral (%)
vs distancia mínima al sitio (km)**



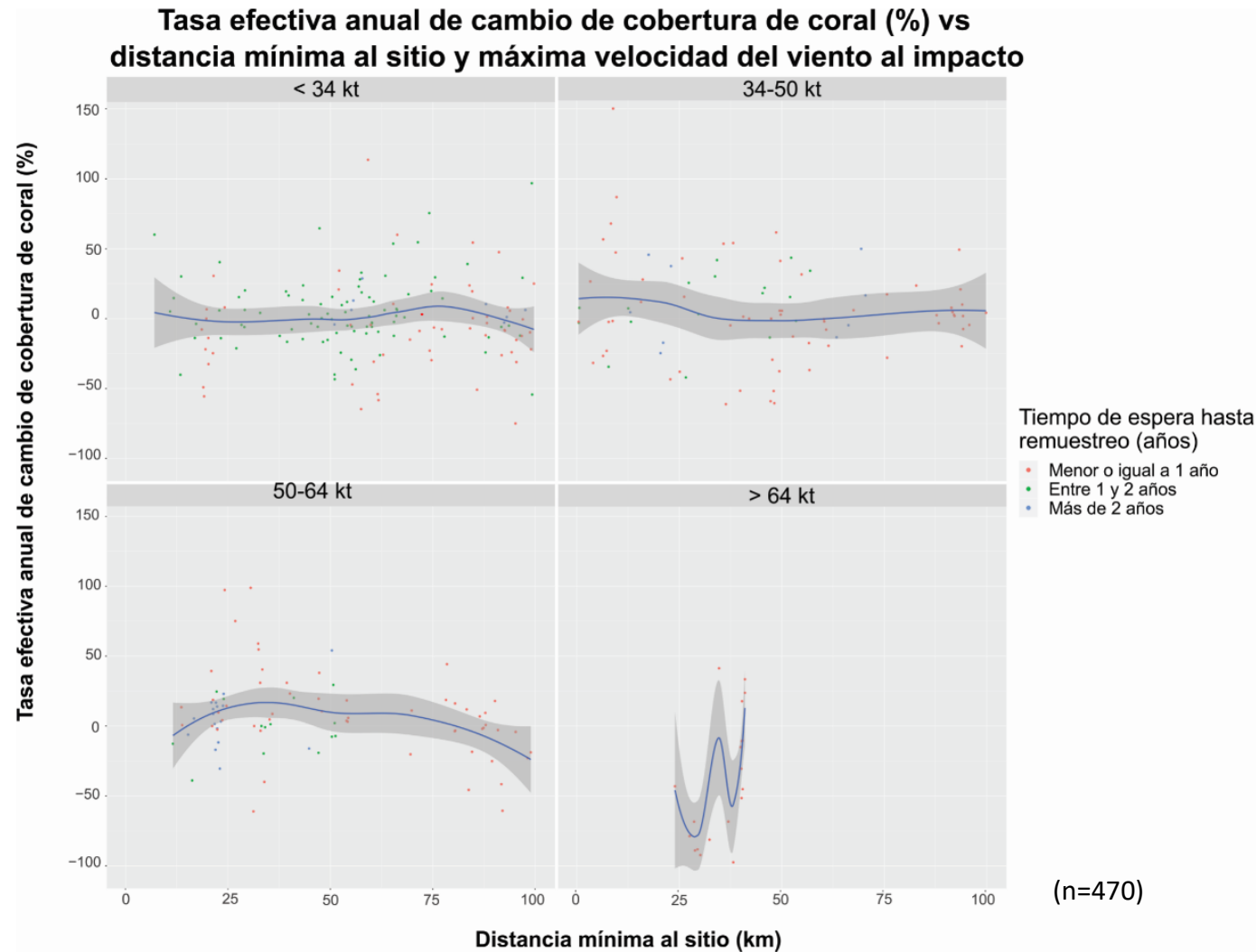
Distancia mínima entre el huracán y la zona de estudio.

La distancia mínima al sitio se perfila con la categoría del huracán.



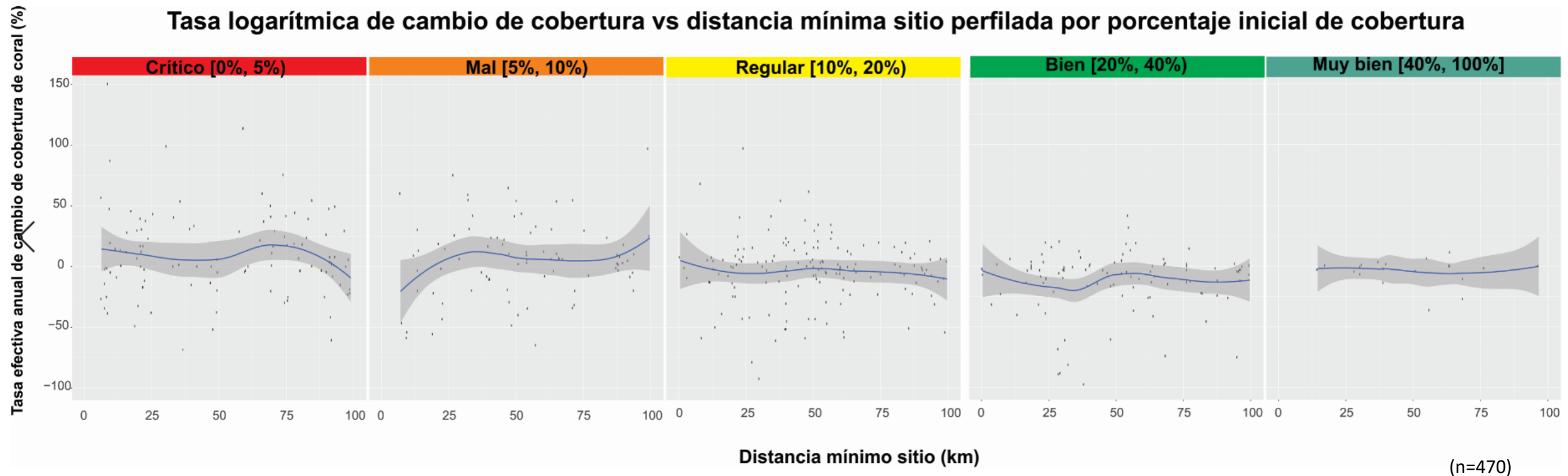
Distancia mínima entre el huracán y la zona de estudio.

La distancia mínima al sitio se perfila con la máxima velocidad de viento al impacto y a 64 kt aparentemente hay mayor pérdida entre 24 y 50 km



Distancia mínima entre el huracán y la zona de estudio.

La distancia mínima al sitio también se perfilo contra el porcentaje inicial de cobertura de coral inicial y no se observa una correlación.



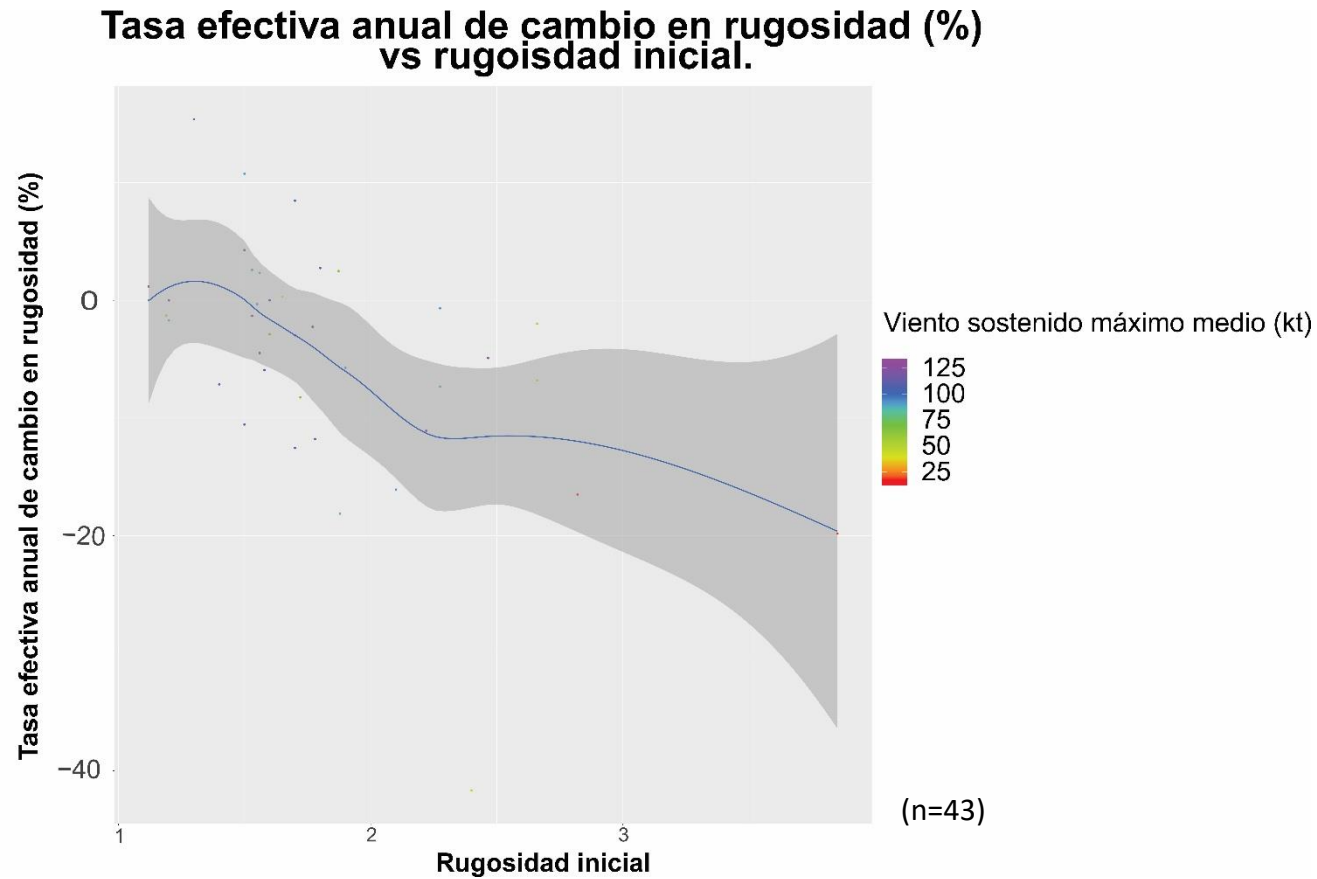


Rugosidad arrecifal



Rugosidad inicial.

Arrecifes con altas rugosidades tienen mayor afectación después de un huracán.



Tipo de arrecife.

Los datos de rugosidad no tienen correlación con el tipo de arrecife.

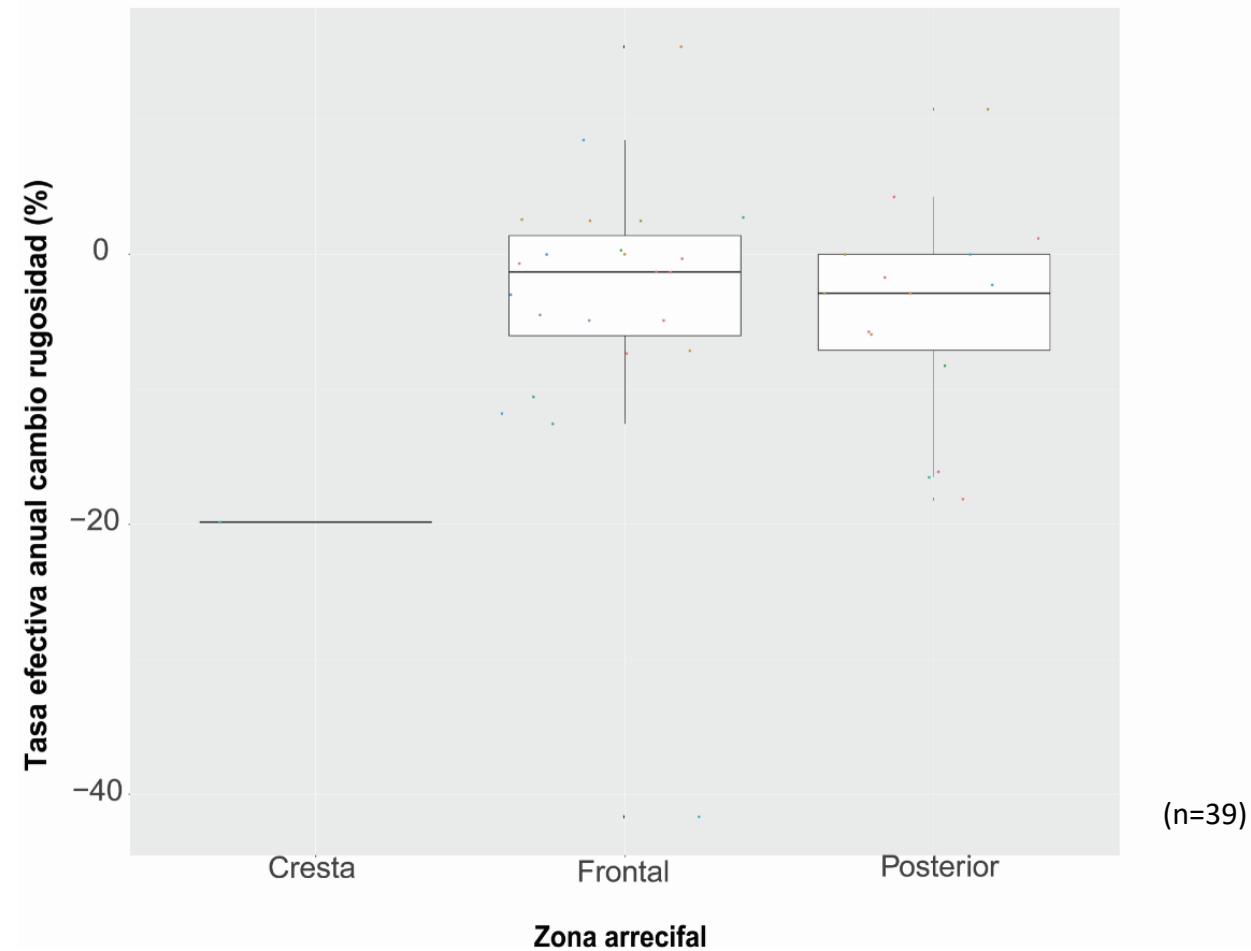
Tasa efectiva anual cambio rugosidad (%) vs tipo arrecife.



Zona arrecifal.

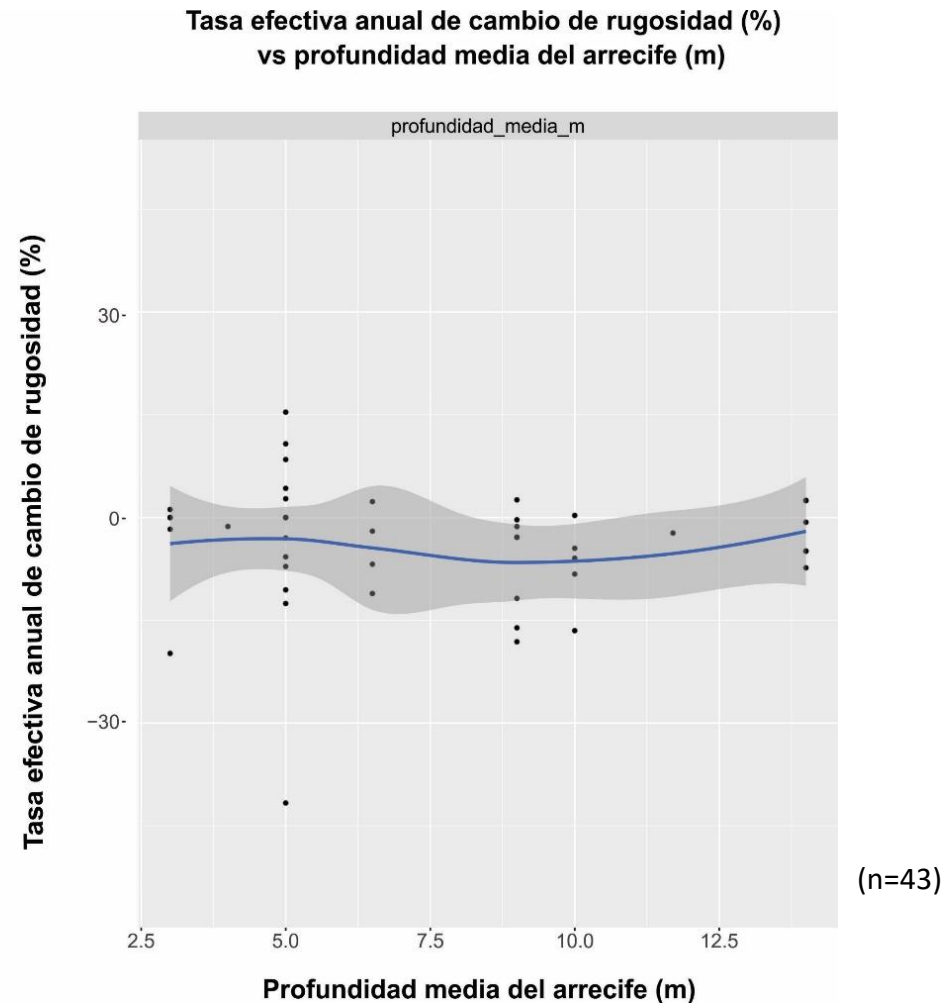
Los datos de rugosidad parece que tienen correlación con la zona arrecifal. En el sitio situado en la cresta.

Tasa efectiva anual cambio rugosidad (%) vs zona arrecifal.



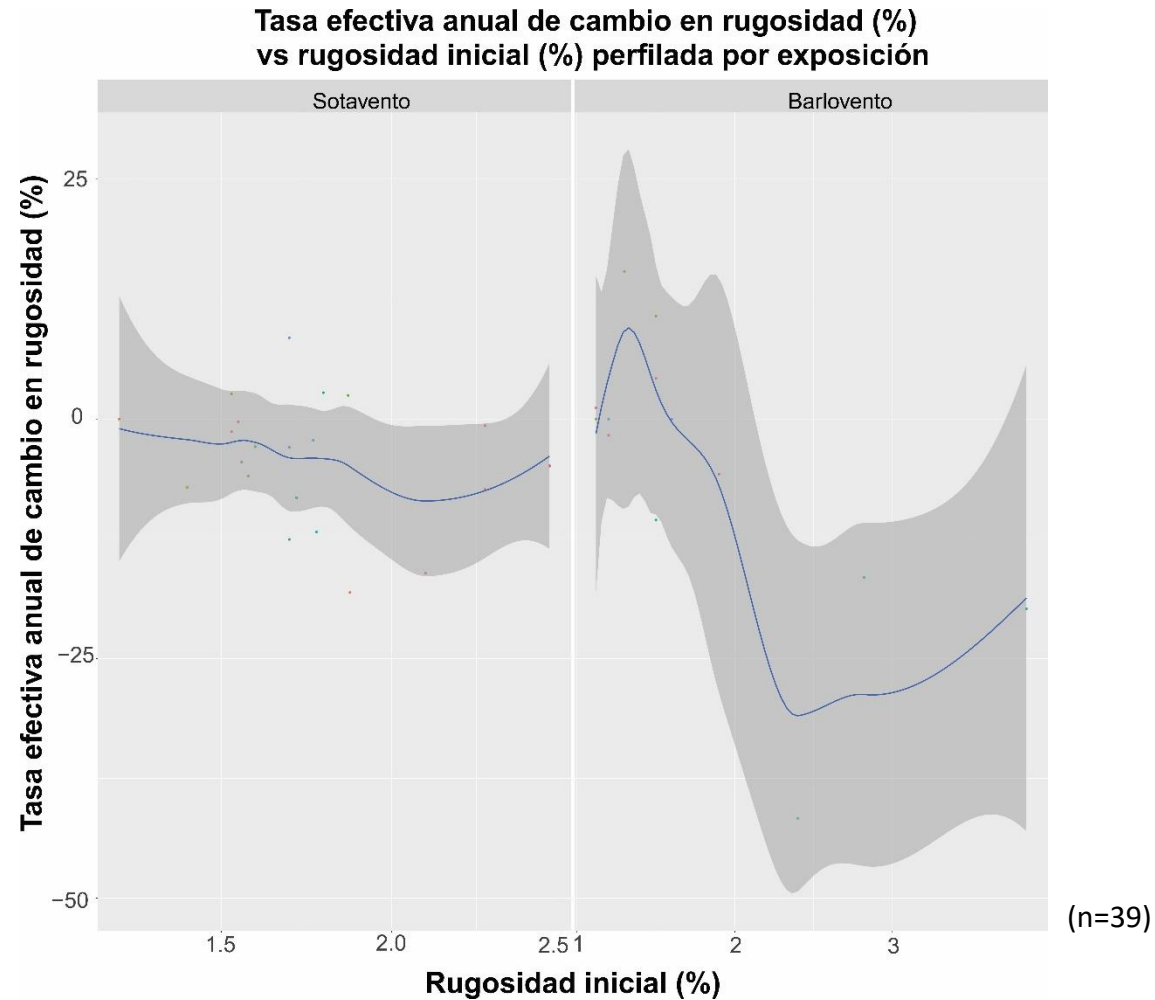
Profundidad media.

La profundidad media del arrecife No tienen correlación con el daño arrecifal, ya que no hay cambio en la rugosidad.



Exposición.

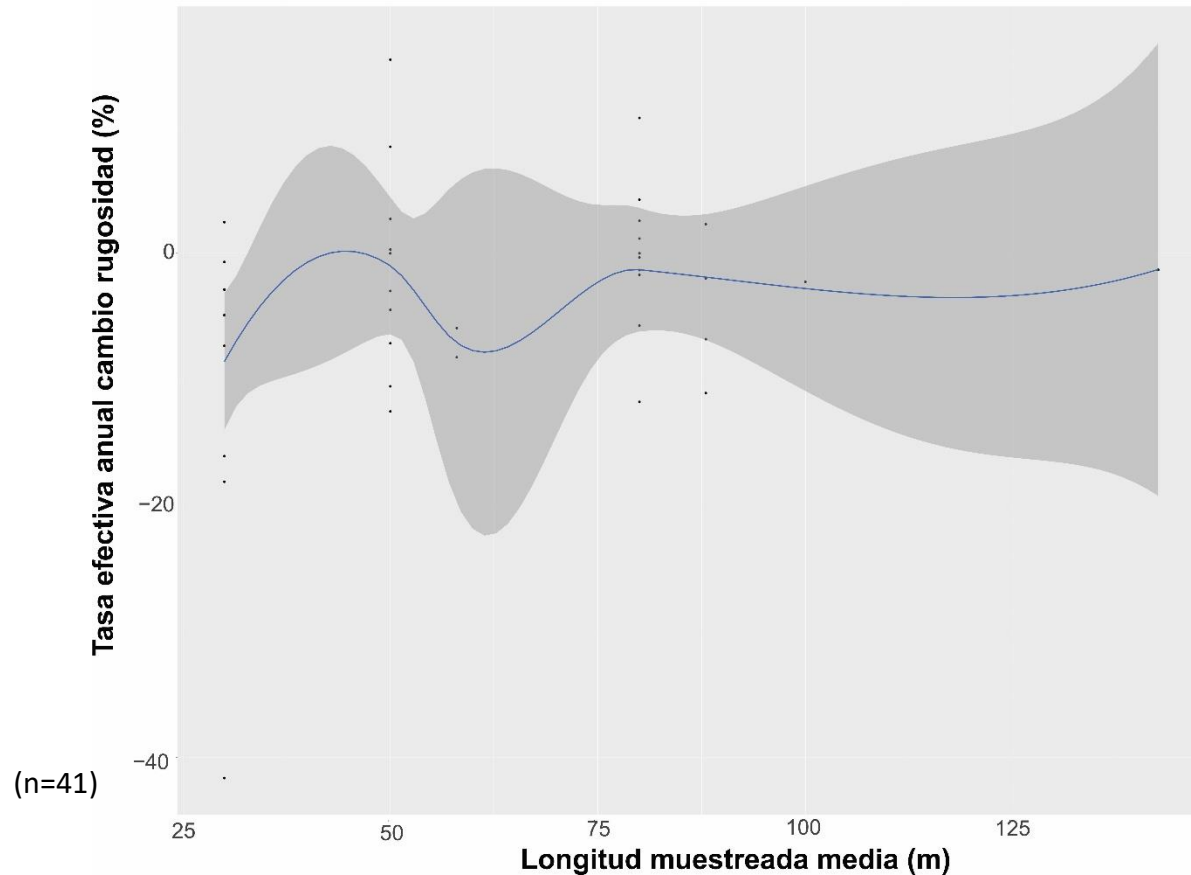
Los arrecifes de barlovento (más expuestos) tienen correlación en el daño en la rugosidad.



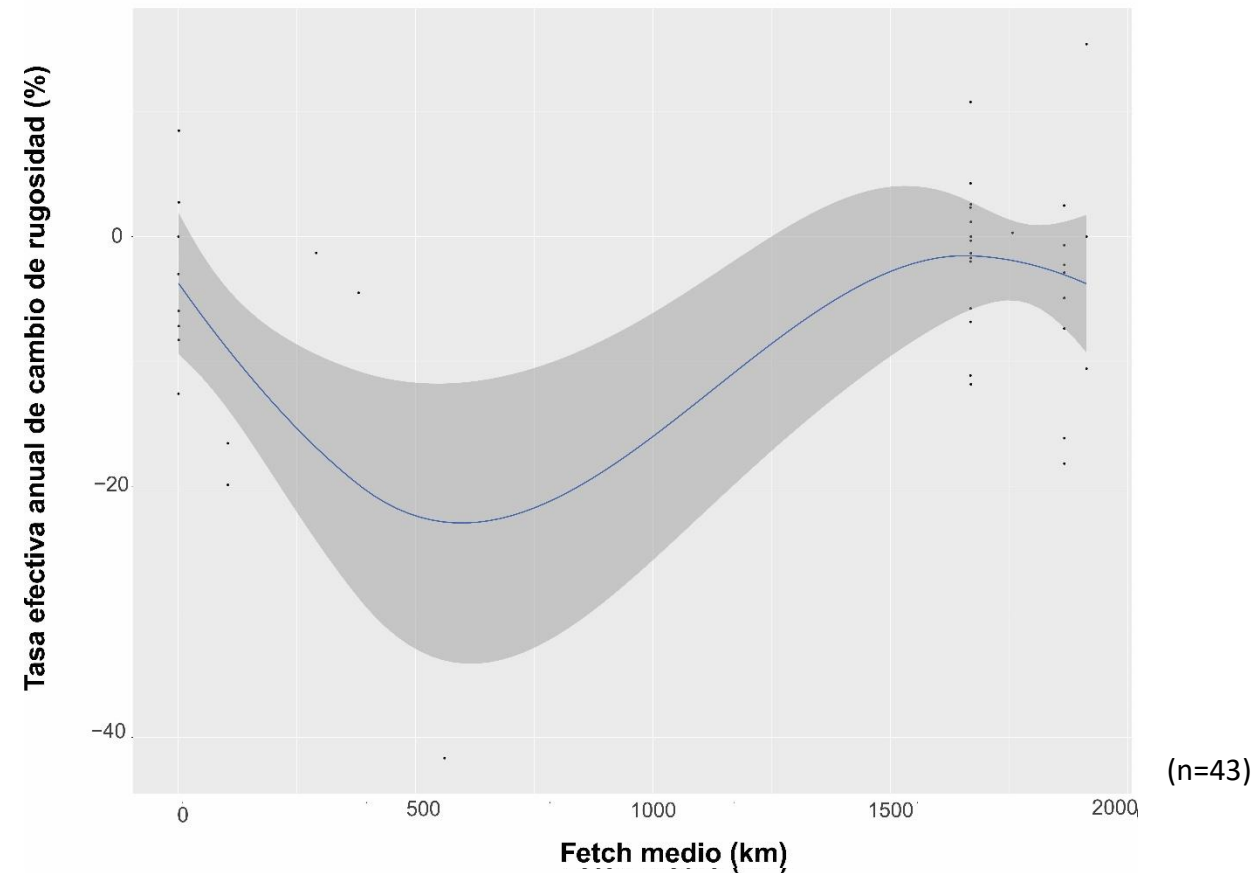
Tamaño del arrecife y fetch.

El tamaño de muestra media y el fetch no tienen correlación con la rugosidad.

**Tasa efectiva anual cambio rugosidad (%)
vs longitud muestreada media (m)**



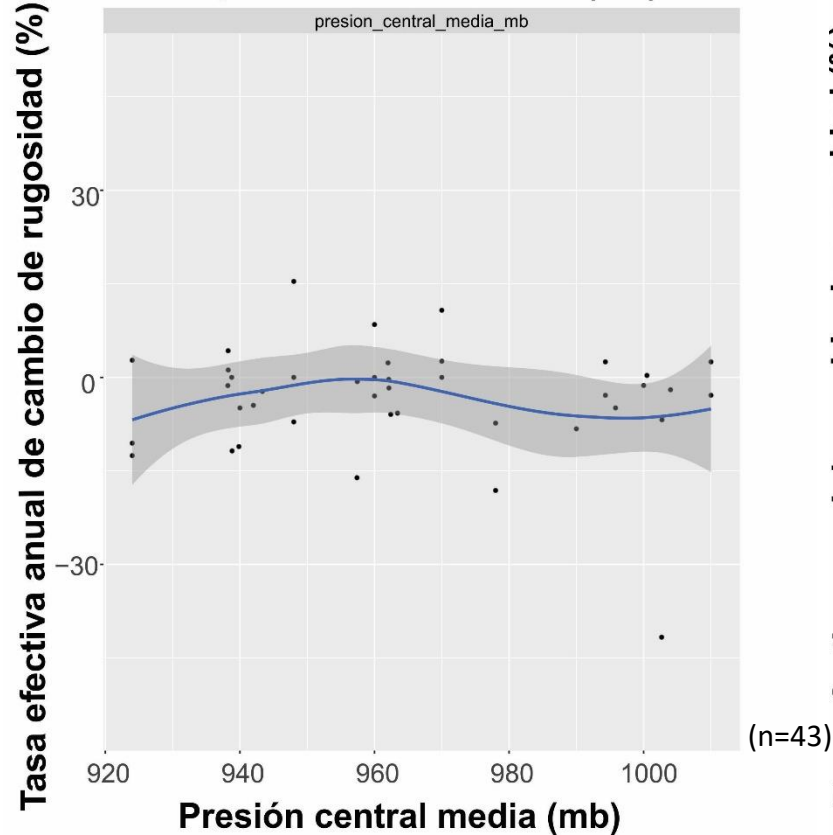
**Tasa efectiva anual cambio de rugosidad (%)
vs fetch este/sureste/sur medio (km).**



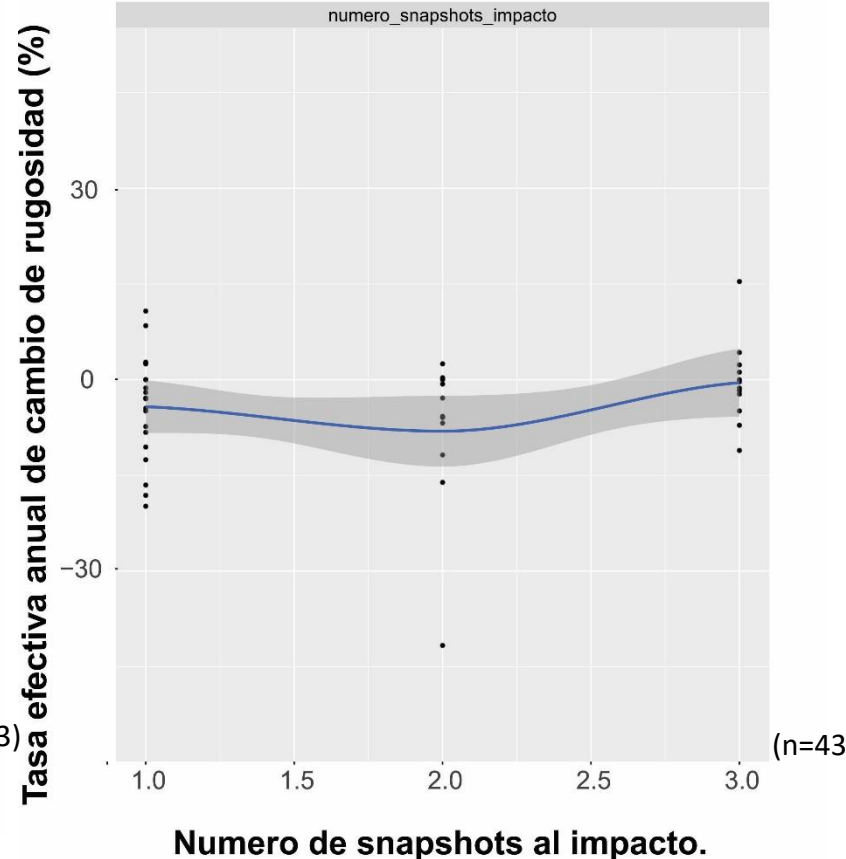
Presión central, duración de la afectación y distancia a la zona de estudio.

La presión central, la duración de la afectación (número de snapshots) y la distancia a la zona de estudio no tiene correlación con la rugosidad.

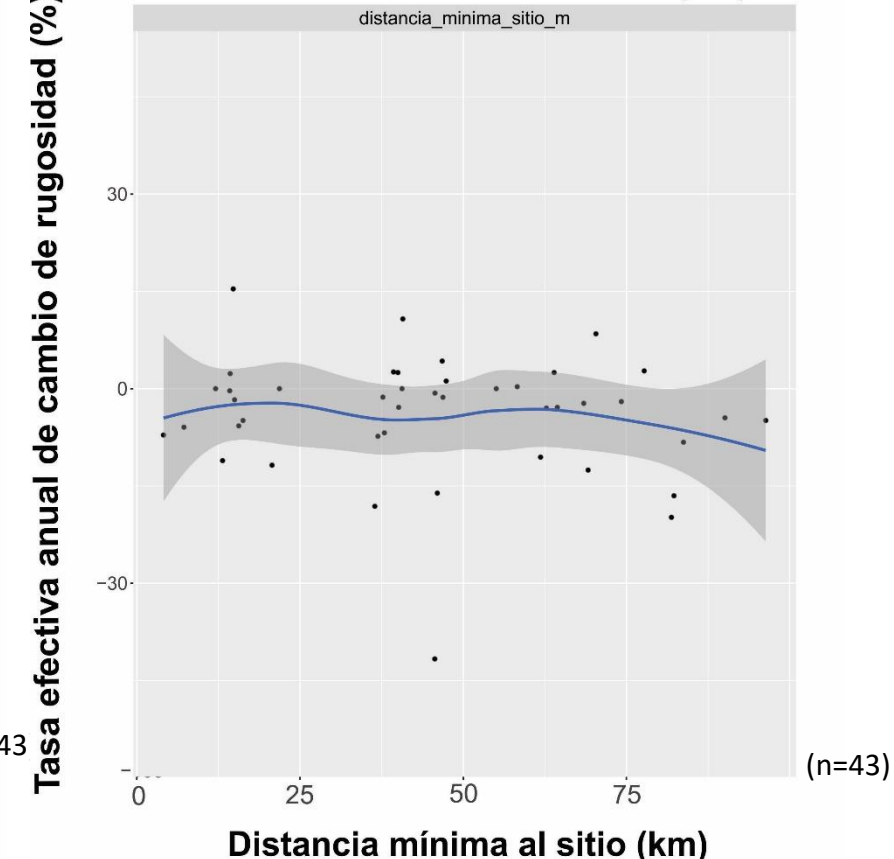
Tasa efectiva anual de cambio de crugosidad (%)
vs presión central media (mb)



Tasa efectiva anual de cambio de rugosidad (%)
vs numero de snapshot al impacto.



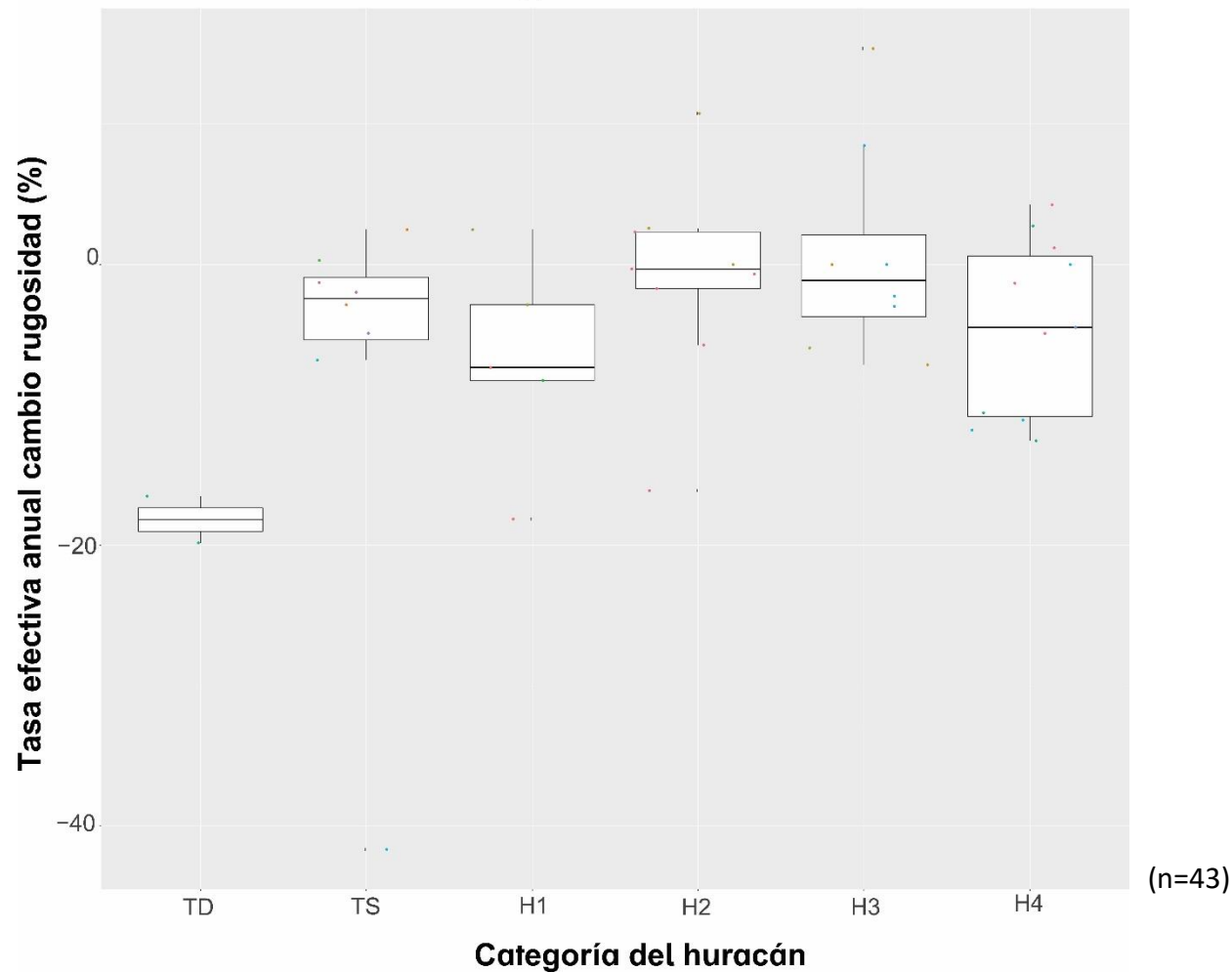
Tasa efectiva anual de cambio de rugosidad (%)
vs distancia mínima al sitio (km)



Intensidad de la tormenta y la máxima intensidad del huracán.

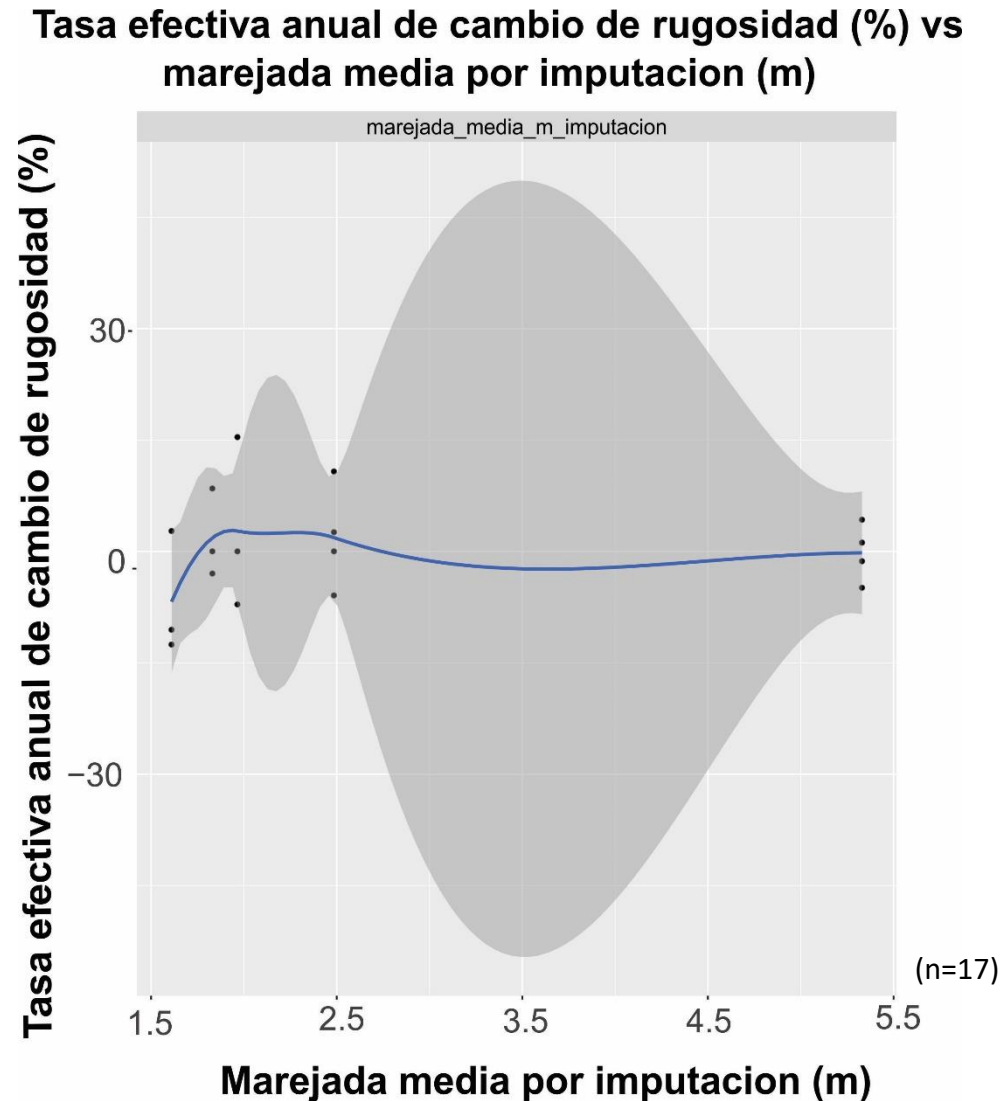
La categoría huracán No se ve correlacionada con la rugosidad .

**Tasa efectiva anual cambio rugosidad (%)
vs categoria de huracán.**



Marea de tormenta.

La marea de tormenta no tiene correlación con la rugosidad.



4. Análisis inferenciales: modelo explicativo lineal mixto.

Se realizó un modelo explicativo para encontrar a las variables que más se relacionaba con el daño arrecifal de la variable de cobertura de coral.

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	3.73	8.94	298.00	0.42	0.677
Máxima velocidad viento impacto kt cat.L	-0.26	0.26	298.00	-0.98	0.3261
Máxima velocidad viento impacto kt cat.Q	-0.11	0.18	298.00	-0.62	0.5372
Máxima velocidad viento impacto kt cat.C	-0.05	0.10	298.00	-0.51	0.6071
Porcentaje cobertura coral muestra inicial	-0.02	0.01	298.00	-3.90	0.0001
Numero snapshots impacto	0.03	0.02	298.00	1.23	0.2213
Presión central media mb	0.00	0.01	298.00	-0.43	0.6643
Viento sostenido máximo medio kt	0.00	0.01	298.00	-0.40	0.6865
Exposicion Intermedio	0.21	0.15	298.00	1.43	0.1528
Exposicion Barlovento	0.17	0.07	298.00	2.59	0.0101
Fetch medio km	0.00	0.00	298.00	0.98	0.3257
Diferencia muestra final salida huracán días	0.00	0.00	298.00	-0.08	0.9343
Máxima velocidad viento impacto kt cat.L:porcentaje cobertura coral muestra inicial	-0.02	0.01	298.00	-1.60	0.1116
Máxima velocidad viento impacto kt cat.Q:porcentaje cobertura coral muestra inicial	-0.02	0.01	298.00	-1.86	0.0642
Máxima velocidad viento impacto kt cat.C:porcentaje cobertura coral muestra inicial	-0.02	0.01	298.00	-2.67	0.008
Exposicion Intermedio:fetch medio km	0.00	0.00	298.00	-1.15	0.2526
Exposicion Barlovento:fetch medio km	0.00	0.00	298.00	-1.02	0.3078

Intercept= intercepto, Value=Valor de β , Std Error=Error estándar, DF=grados de libertad, t-value=valor de t, p-value=valor de p para aceptar o rechazar la hipótesis nula.

4. Análisis inferenciales modelo explicativo.

Las variables que mejor explican la pérdida de cobertura de coral son:

1. Porcentaje cobertura coral muestra inicial
2. Exposición Barlovento
3. Máxima velocidad viento impacto

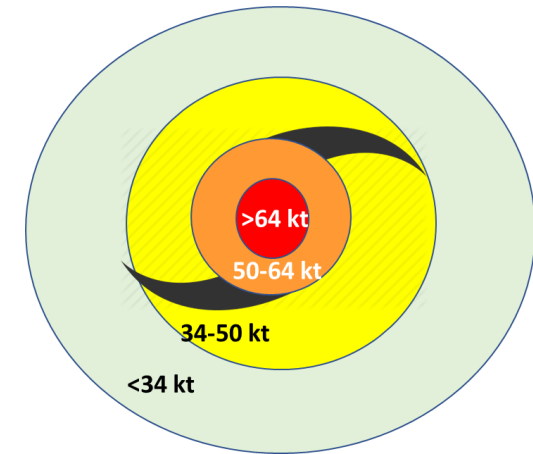


Cobertura coral



EXPOSICIÓN

Exposición



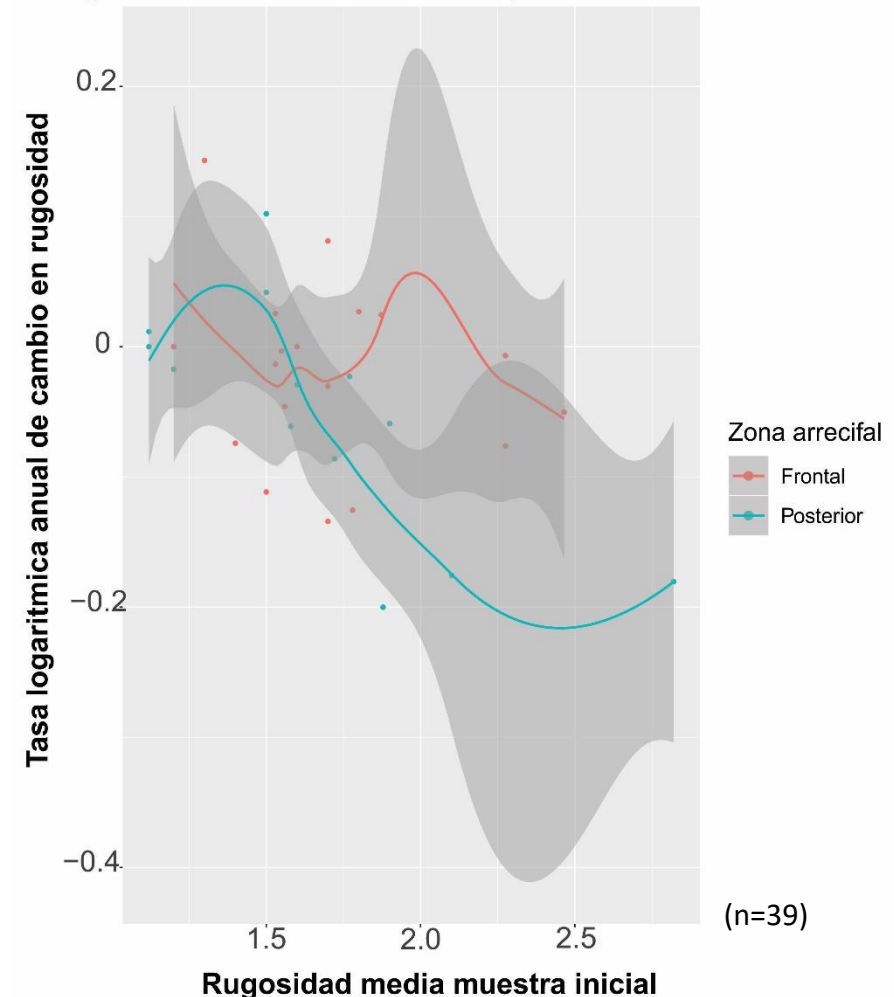
Máxima velocidad viento impacto

4. Análisis inferenciales: modelo explicativo lineal múltiple.

Para la variable de rugosidad, la rugosidad inicial es la que mejor explica el daño que causa un huracán.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.144	0.053	2.715	0.011
Rugosidad media muestra inicial	-0.094	0.029	-3.216	0.003
Zona arrecifal Posterior	-0.038	0.023	-1.648	0.109

Tasa logarítmica anual de cambio en rugosidad
vs rugosidad media muestra inicial y zona arrecifal.



4. Análisis inferenciales: ecuación con regresión lineal.

Se realizó una regresión lineal para obtener la ecuación que considera sólo las variables que resultaron significativas en el modelo explicativo.

	Estimate
(Intercept)	0.067329
porcentaje cobertura coral muestra inicial	-0.008203
Exposición Barlovento	0.094204
Porcentaje cobertura coral muestra inicial máxima velocidad viento impacto (kt) 34-50 kt	-0.001374
Porcentaje cobertura coral muestra inicial máxima velocidad viento impacto (kt) 50-64 kt	0.001929
Porcentaje cobertura coral muestra inicial máxima velocidad viento impacto (kt) Mayor a 64 kt	-0.024567

4. Análisis inferenciales: ecuación con regresión lineal.

ECUACIÓN TASA EFECTIVA PROMEDIO ESTIMADA

Tasa efectiva promedio estimada= $(0.067329 - (0.008203 * \%Ci) + (0.094204 * 0(B) \text{ ó } 1(S)) - (0.001374 * (1 \text{ si MVVi es } 34-50 \text{ kt ó } 0) + (0.001929 * (1 \text{ si MVVi es } 50-64 \text{ kt ó } 0) - (0.024567 * (1 \text{ si MVVi es } >64 \text{ kt ó } 0))) * 100$

%Ci=porcentaje cobertura coral muestra inicial.

B=Barlovento.

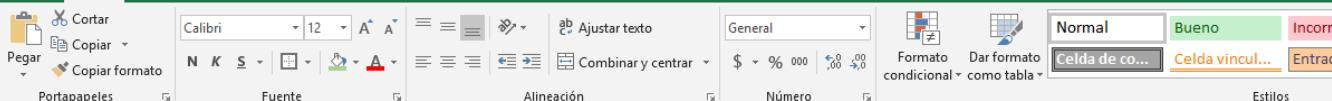
S=Sotavento

MVVi=máxima velocidad viento impacto

kt=nudos

4. Análisis inferenciales: ecuación con regresión lineal.

- En el programa de Excel se elaboró un documento para calcular automáticamente la tasa efectiva promedio estimada y la cobertura de coral final estimada, de esta forma se podrá calcular para todos los escenarios de interés

Autoguardado  ecuacion_auxiliar.excel_CON_CALCULO - Excel			
Archivo Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Ayuda ¿Qué desea hacer?			
			
F7 			
A	B	C	D
1	INDICACIONES: Llene con la información correspondiente las celdas de color verde.		
2			
3	Variable	VALOR	
4	1. Cobertura de coral inicial en %	Cobertura de coral (%)	30
5	2. Exposición	Barlovento (1), Sotavento (0)	1
6	3. Velocidad de viento al impacto	34-50 kt (1)(0)	0
7		50-64 kt (1) (0)	0
8		>64kt (1)(0)	1
9			
10			
11	Tasa efectiva promedio estimada		-82.2
12	Cobertura de coral final estimada (%)		5.35
13			
14	1. La cobertura inicial en porcentaje antes del impacto del huracán. (valores de 1-100)		
15	2. Exposición, es la ubicación del sitio De acuerdo con la localización del sitio en el contexto de la isla o línea de costa puede variar el efecto y la intensidad de las corrientes y vientos el barlovento (poner 1) es la zona que se encuentra más expuesta y el sotavento (poner 0) la zona más protegida.		
16	3. Velocidad de viento al impacto, es el rango de viento del huracán que pasó sobre de la zona de estudio. Poner 1 en el rango de su elección y 0 en los rangos que no corresponden, por ejemplo si quiere estimar la tasa efectiva a una velocidad de viento mayor a 64 nudos poner 1 en la casilla >64kt y 0 en 34-50 kt y 50-64 kt.		

Conclusiones

Las variables del arrecife que aparentemente se correlacionan con el daño arrecifal después del paso de un huracán fueron:

1. **Cobertura de coral**, a mayor porcentaje de cobertura inicial mayor daño en vientos mayores a 64 kt. La misma tendencia se observa a menos de 1 año de remuestreo.
2. **Rugosidad inicial**, a mayor rugosidad inicial mayor daño.
3. **Exposición**, aparentemente hay mayor afectación en sitios situados en sotavento a vientos mayores a 64 kt. La misma tendencia se observa a menos de 1 año de remuestreo.
4. **El fetch**, calculado al ángulo de: norte, noreste, este, sureste, sur, suroeste y oeste, tiene un efecto negativo, pero filtrando solo a este, sureste y sur ya no tiene correlación. El fetch de todos los ángulos tiene afectación en arrecifes situados en sotavento.



Álvarez-Filip L.

Conclusiones

Las variables de los huracanes que aparentemente correlacionan fueron:

1. **Velocidad del viento al impacto**, a vientos mayores a 64 kt es más evidente daño arrecifal.
2. **La intensidad del viento y la presión central** parecen estar correlacionadas con un mayor daño arrecifal.
3. **Duración de la afectación**, aparentemente a mayor tiempo de exposición parece estar correlacionado con un mayor daño arrecifal.
4. **La marea de tormenta**, parece estar correlacionadas con un mayor daño arrecifal.

Las variables que no tienen correlación son: profundidad del sitio, tamaño, fetch, tipo arrecife, zona arrecifal y distancia mínima a la zona de estudio.



Conclusiones

- Las variables que resultaron en el modelo explicativo que más se correlacionan con la pérdida de cobertura de coral después del paso de un huracán son:
 - ✓ **Porcentaje cobertura coral muestra inicial**
 - ✓ **Exposición Barlovento**
 - ✓ **Máxima velocidad viento impacto**
- La variable que más se correlaciona con la pérdida de rugosidad es:
 - ✓ **La rugosidad inicial.**

Por lo tanto, las variables de: porcentaje cobertura coral muestra inicial, exposición, máxima velocidad de viento al impacto y rugosidad inicial, son las que recomendamos para el seguro paramétrico.



Recomendaciones

- Se recomienda ampliamente una segunda fase en la que incluya:
 - Los datos del Dr. Simon Young (Willis Towers Watson/Global Ecosystem Resilience Facility) de velocidad de viento y marea de tormenta, que son más finos comparados con lo que se usaron en esta fase.
 - Tomar en cuenta las especies de corales que se encuentran en los arrecifes estudiados.
 - La creación de una herramienta web para calcular el daño arrecifal.



GRACIAS





ANEXOS

Tabla a. Citas de los artículos, bases de datos, informe y tesis de licenciatura que se utilizaron para este proyecto.

Artículo 13

Alcolado, P. M., Hernández-Muñoz, D., Aragón, H. C., Busutil, L., Valderrama, S. P., & Hidalgo, G. (2009). Efectos de un inusual período de alta frecuencia de huracanes sobre el bentos de arrecifes coralinos. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 1(1), 73-93.

Aronson, R. B., Sebens, K. P., & Ebersole, J. P. (1994). Hurricane Hugo's impact on Salt River submarine canyon, St. Croix, US Virgin Islands. In *Proc Colloquium on Global Aspects of Coral Reefs: Health, Hazards and History*. Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, Miami (pp. 189-195).

Beltrán-Torres, A. U., Muñoz-Sánchez, L., & Carricart-Ganivet, J. P. (2003). Effects of hurricane Keith at a patch reef on Banco Chinchorro, Mexican Caribbean. *Bulletin of marine science*, 73(1), 187-196.

Bythell, J. C., Bythell, M., & Gladfelter, E. H. (1993). Initial results of a long-term coral reef monitoring program: impact of Hurricane Hugo at Buck Island Reef National Monument, St. Croix US Virgin Islands. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 172(1-2), 171-183.

Edmunds, P. J. (2013). Decadal-scale changes in the community structure of coral reefs of St. John, US Virgin Islands. *Marine Ecology Progress Series*, 489, 107-123.

Fenner, D. P. (1991). Effects of Hurricane Gilbert on coral reefs, fishes and sponges at Cozumel, Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 48(3), 719-730.

Rogers, C. S. (1992). A matter of scale: damage from Hurricane Hugo (1989) to U.S. Virgin Islands reefs at the colony, community, and whole reef level. *Seventh International Coral Reef Symposium*, 1(1989), 127–133.

Rogers, C. S., Gilnack, M., & Fitz III, H. C. (1983). Monitoring of coral reefs with linear transects: a study of storm damage. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 66(3), 285-300.

Rogers, C. S., McLain, L. N., & Tobias, C. R. (1991). Effects of Hurricane Hugo (1989) on a coral reef in St. John, USVI. *Marine Ecology Progress Series*, 189-199.

Rogers, C. S., Suchanek, T. H., & Pecora, F. A. (1982). Effects of hurricanes David and Frederic (1979) on shallow *Acropora palmata* reef communities: St. Croix, US Virgin Islands. *Bulletin of Marine Science*, 32(2), 532-548.

Rousseau, Y., Galzin, R., & Maréchal, J.-P. (2010). Impact of hurricane Dean on coral reef benthic and fish structure of Martinique, French West Indies. *Cybiuim*, 34(3), 243–256.

Steneck, R. S. (1993). Is herbivore loss more damaging to reefs than hurricanes? Case studies from two Caribbean reef systems (1978-1988). p. i-viii. In Ginsburg, RN (compiler). *Proceedings of the Colloquium on Global Aspects of Coral Reefs: Health, Hazards, and History*. Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami, Miami.

Woodley, J. D., Chornesky, E. A., Clifford, P. A., Jackson, J. B. C., Kaufman, L. S., Knowlton, N., ... & Rylaarsdam, K. W. (1981). Hurricane Allen's impact on Jamaican coral reefs. *Science*, 214(4522), 749-755.

Base de datos 8

Álvarez Filip, L y Nava Martínez, G. (2006). Reporte del efecto de los Huracanes Emily y Wilma sobre arrecifes de la costa Oeste del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel (Reporte técnico). Parque Nacional Arrecifes de Cozumel-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

BASE DE DATOS BARCO LAB

Guest, J.R., Edmunds, P.J., Gates, R.D., Kuffner, I.B., Brown, E.K., Rodgers, K.S., Jokiel, P.L., Ruzicka, R.R., Colella, M.A., Miller, J., Atkinson, A., Feeley, M.W., Rogers, C.S., 2018, Time-series coral-cover data from Hawaii, Florida, Mo'orea, and the Virgin Islands: U.S. Geological Survey data release, <https://doi.org/10.5066/F78W3C7W>. Accessibility FOIA Privacy Policies and

Linton, Dulcie; Bermuda Institute of Ocean Sciences (2010). A unified, long-term, Caribbean-wide initiative to identity the factors responsible for sustaining mangrove wetland, seagrass meadow, and coral reef productivity, February 1993 - October 1998 (NODC Accession 0000501). Version 1.2. National Oceanographic Data Center, NOAA. Dataset.

Marks K. (2018). Base de Dato de AGRRA.

Meesters E. (). DUTCH CARIBBEAN Biodiversity database, <http://www.dcbd.nl/monitoring/reef>

Millet-Encalada, M., y Álvarez-Filip, L. (2007) Reporte del Programa de Monitoreo de Arrecifes de Cozumel para la temporada 2006 (Reporte técnico). Parque Nacional Arrecifes de Cozumel-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

Nava-Martínez, G. G., Alvarez-Filip, L., y Hernandez-Landa, R. (2006) Reporte del Programa de Monitoreo Arrecifal Parque Nacional Arrecifes de Cozumel 2004-2005 (Reporte técnico). Parque Nacional Arrecifes de Cozumel-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

(en blanco)

Informe 1

PNAPM-CONANP. Evaluación de la condición de las comunidades coralinas que se desarrollan en sitios de visita, destinados al uso turístico semi-intensivo, dentro de las Unidades Arrecifales del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos. (WILMA). Sin fecha de publicación.

Tesis Licenciatura 1

Rodríguez-Martínez, R. E. (1993). Efectos de un ciclón en la estructura comunitaria de corales escleractinios. Tesis de Licenciatura. ENEP Iztacala. Universidad Nacional Autónoma México, México. TESIUNAM

Tabla b. Lista de los huracanes que se usaron en el estudio. Clave del huracán y nombre.

1. AL012008	ARTHUR	19. AL062006	ERNESTO	37. AL111989	HUGO
2. AL021996	BERTHA	20. AL062007	FELIX	38. AL111996	KYLE
3. AL022007	BARRY	21. AL062008	FAY	39. AL121994	GORDON
4. AL022013	BARRY	22. AL071998	GEORGES	40. AL121996	LILI
5. AL031993	BRET	23. AL072000	DEBBY	41. AL122005	KATRINA
6. AL031996	CESAR	24. AL072010	EARL	42. AL122013	KAREN
7. AL032010	BONNIE	25. AL072012	HELENE	43. AL131990	KLAUS
8. AL041980	ALLEN	26. AL081994	UNNAMED	44. AL131999	IRENE
9. AL042007	DEAN	27. AL081996	HORTENSE	45. AL132010	KARL
10. AL042008	DOLLY	28. AL082011	HARVEY	46. AL152008	OMAR
11. AL051995	ERIN	29. AL092004	IVAN	47. AL162007	NOEL
12. AL052001	DEAN	30. AL092011	IRENE	48. AL172007	OLGA
13. AL052005	EMILY	31. AL092012	ISAAC	49. AL182010	PAULA
14. AL052011	EMILY	32. AL092014	HANNA	50. AL182011	RINA
15. AL052012	ERNESTO	33. AL101981	DENNIS	51. AL191995	ROXANNE
16. AL052016	EARL	34. AL101994	UNNAMED	52. AL252005	WILMA
17. AL061978	CORA	35. AL102002	ISIDORE		
18. AL061994	DEBBY	36. AL111988	JOAN		