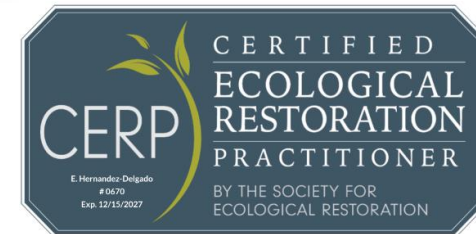




Retos y recomendaciones de manejo para la conservación de los arrecifes de coral en las costras de Vega Baja y Manatí

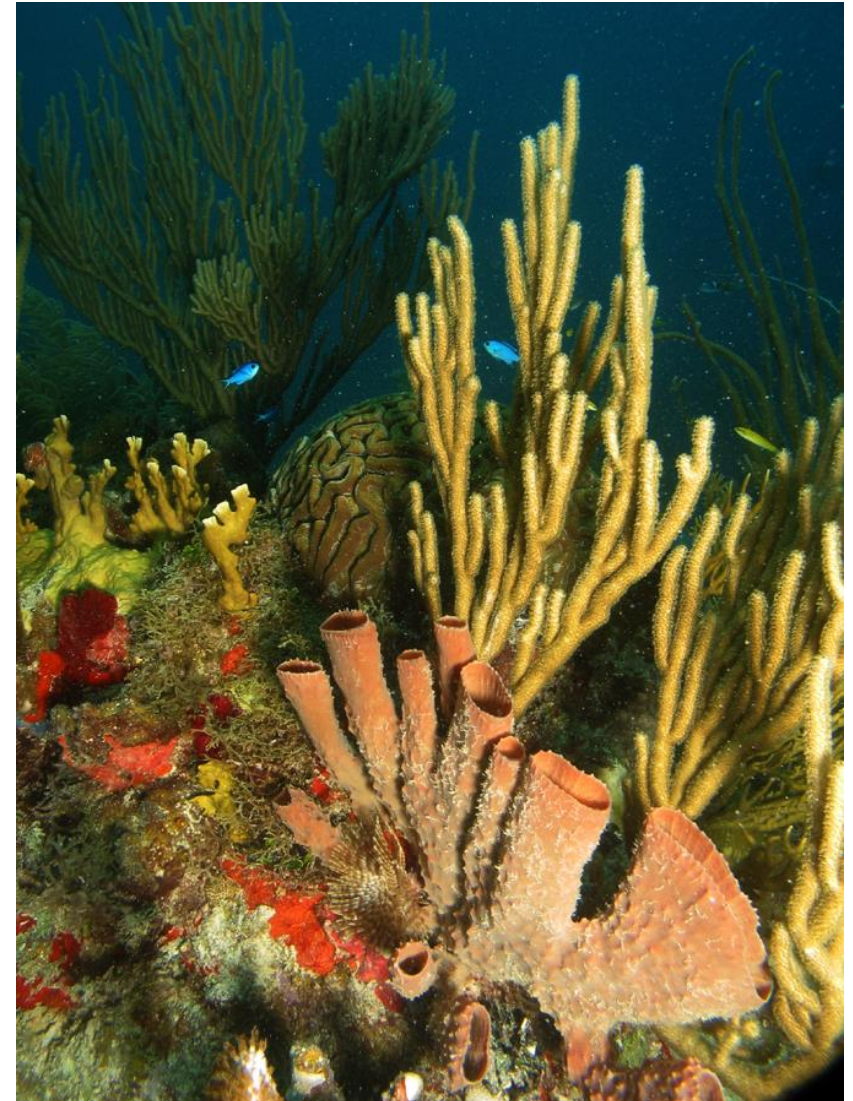
Edwin A. Hernández-Delgado

Sociedad Ambiente Marino edwinhernandez@sampr.org



Objetivos

- Comprender las consecuencias de la turbidez y de la contaminación fecal en las costas
- Casos de estudio de los impactos de la turbidez, sedimentación y de la contaminación fecal en los arrecifes de coral
- Casos de estudio de las consecuencias a largo plazo
- Recomendaciones de manejo

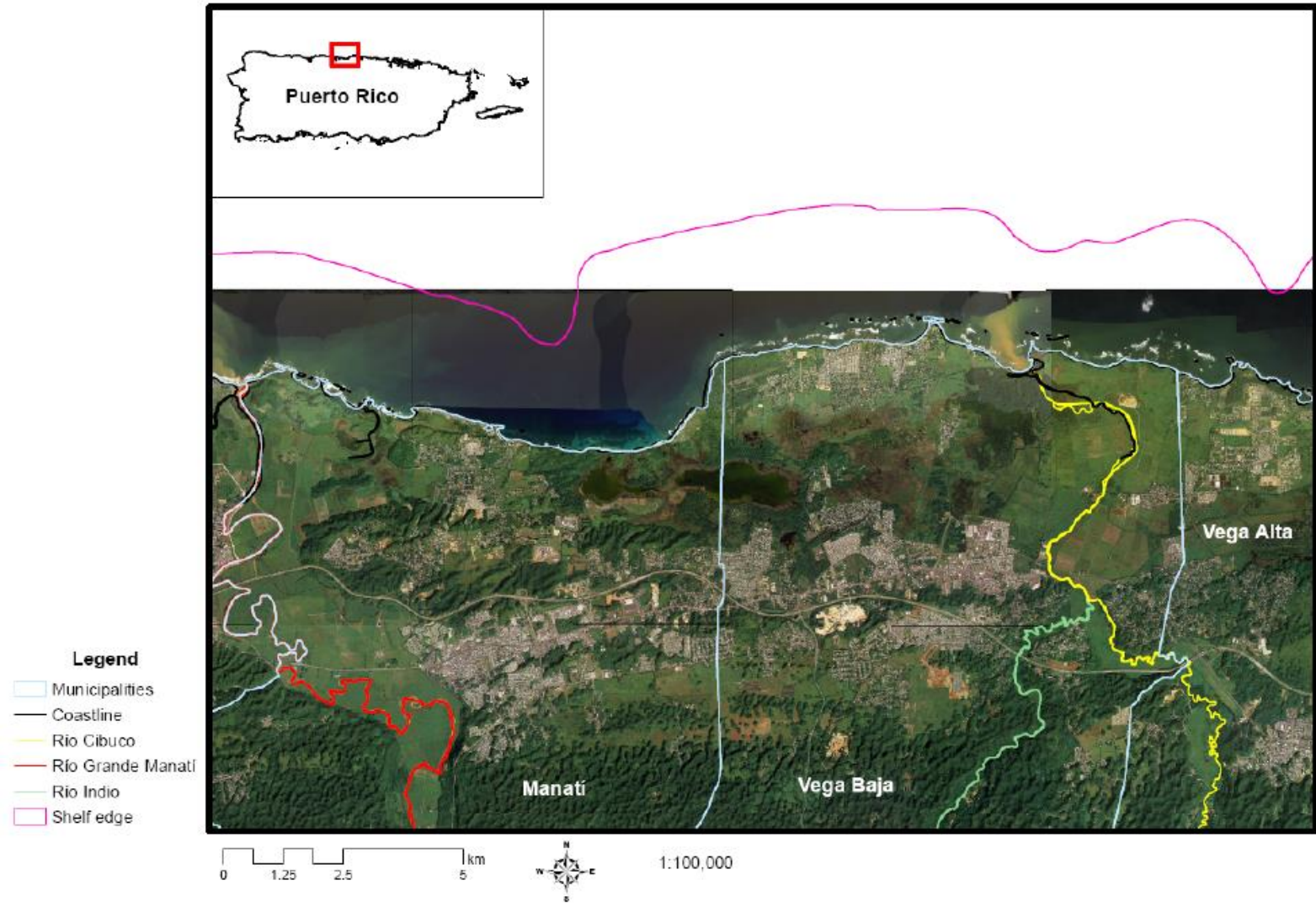


¿Cuál es el estado de los ecosistemas costeros en Vega Baja y cómo la vitalidad de la gobernanza juega un papel crítico en la resiliencia social-ecológica?

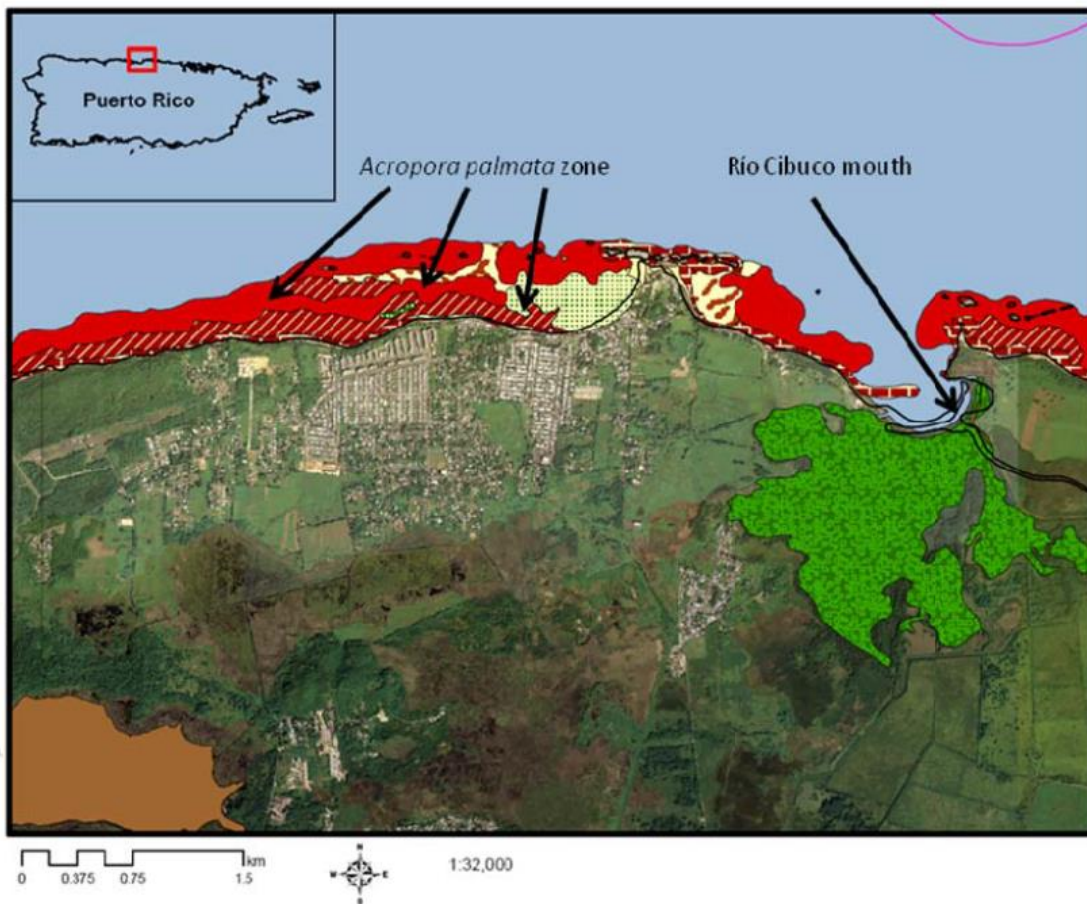
- ¿Hay una pérdida en la persistencia de las comunidades de arrecifes de coral?
- ¿Cuál es el rol de la **Sedimentación**, la **Turbidez**, la **Eutroficación** y la **Contaminación crónica de la costa (SETEC)**?
- ¿Cómo el brote epidémico del stony coral tissue loss disease (SCTLD) ha afectado a los arrecifes de coral de Vega Baja?
- ¿Cuáles son las consecuencias de la inacción?
- ¿Qué opciones propone la comunidad?



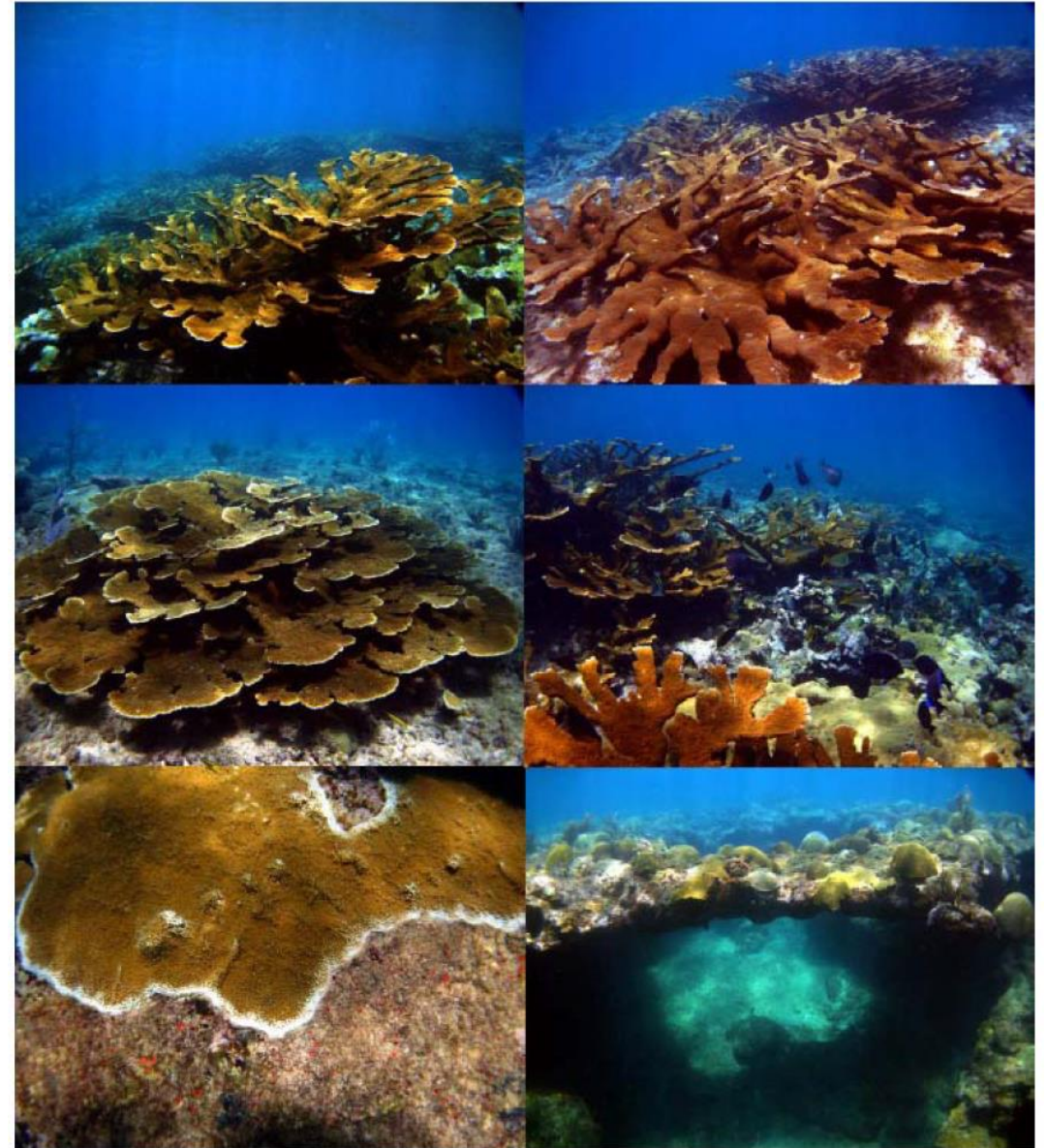
Zonas de interés en la presentación



Zonas de interés en la presentación



Zonas de interés en la presentación



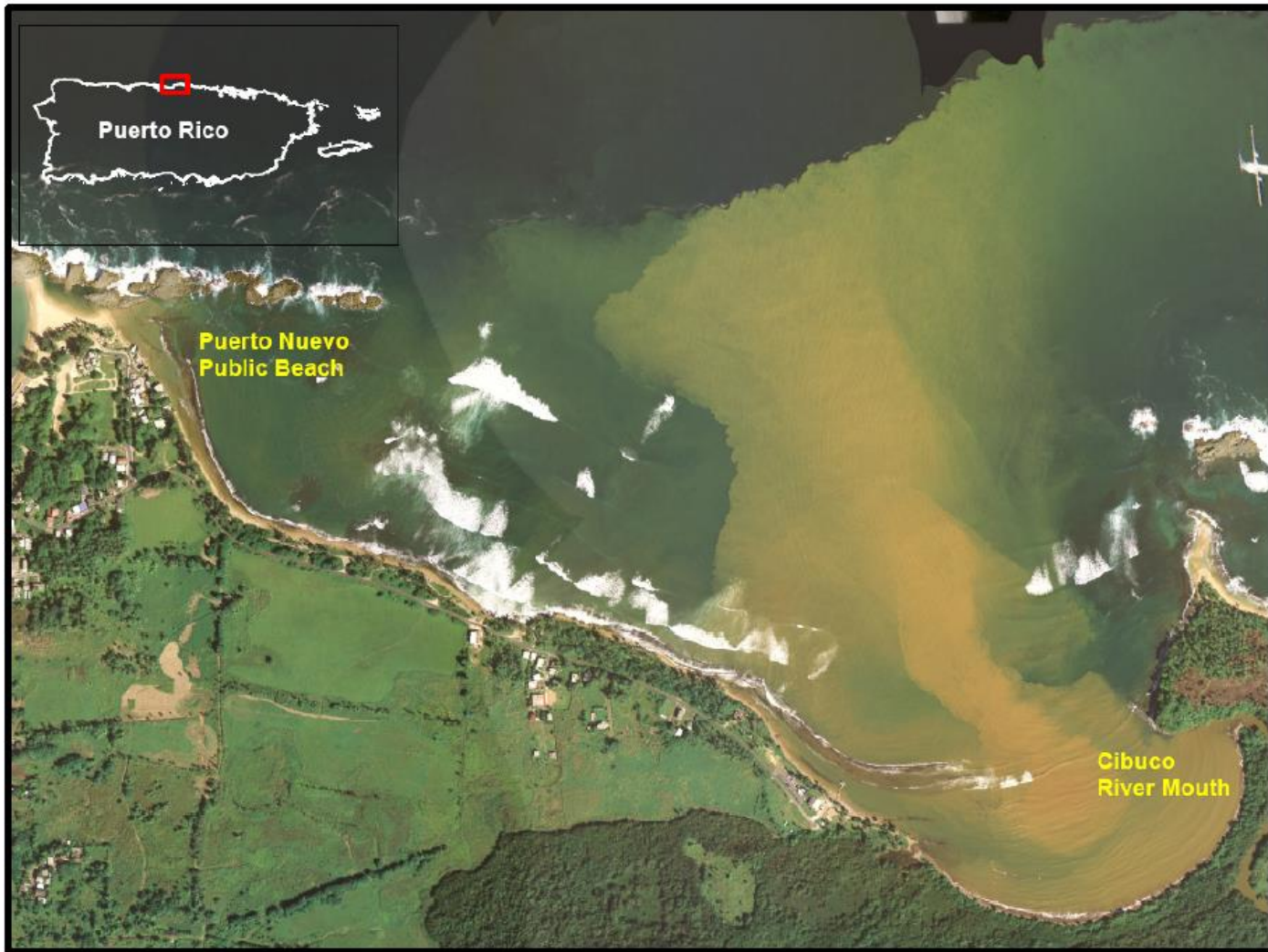
Abusos ambientales en los pasados 15 años



Abusos ambientales en los pasados 15 años



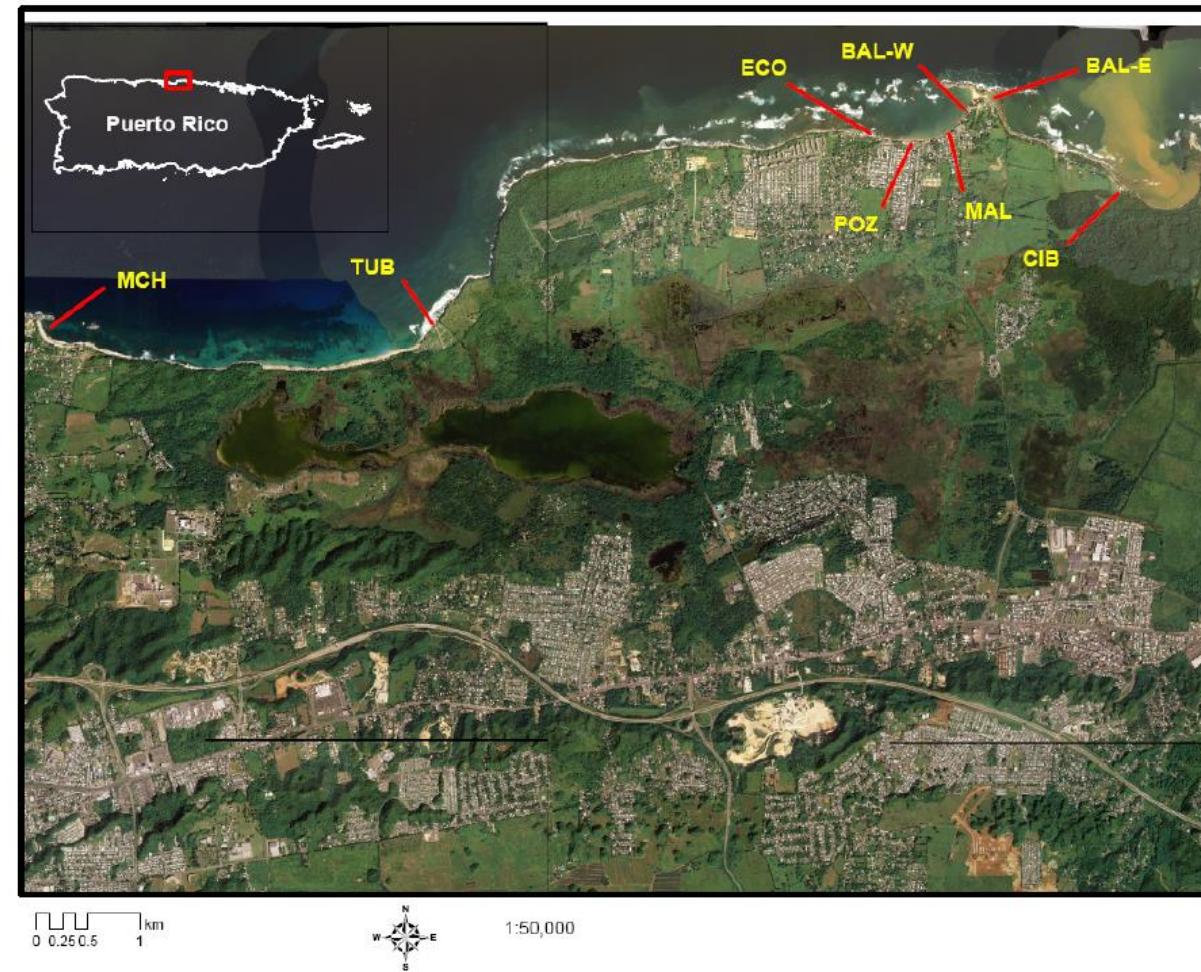
Abusos ambientales en los pasados 15 años



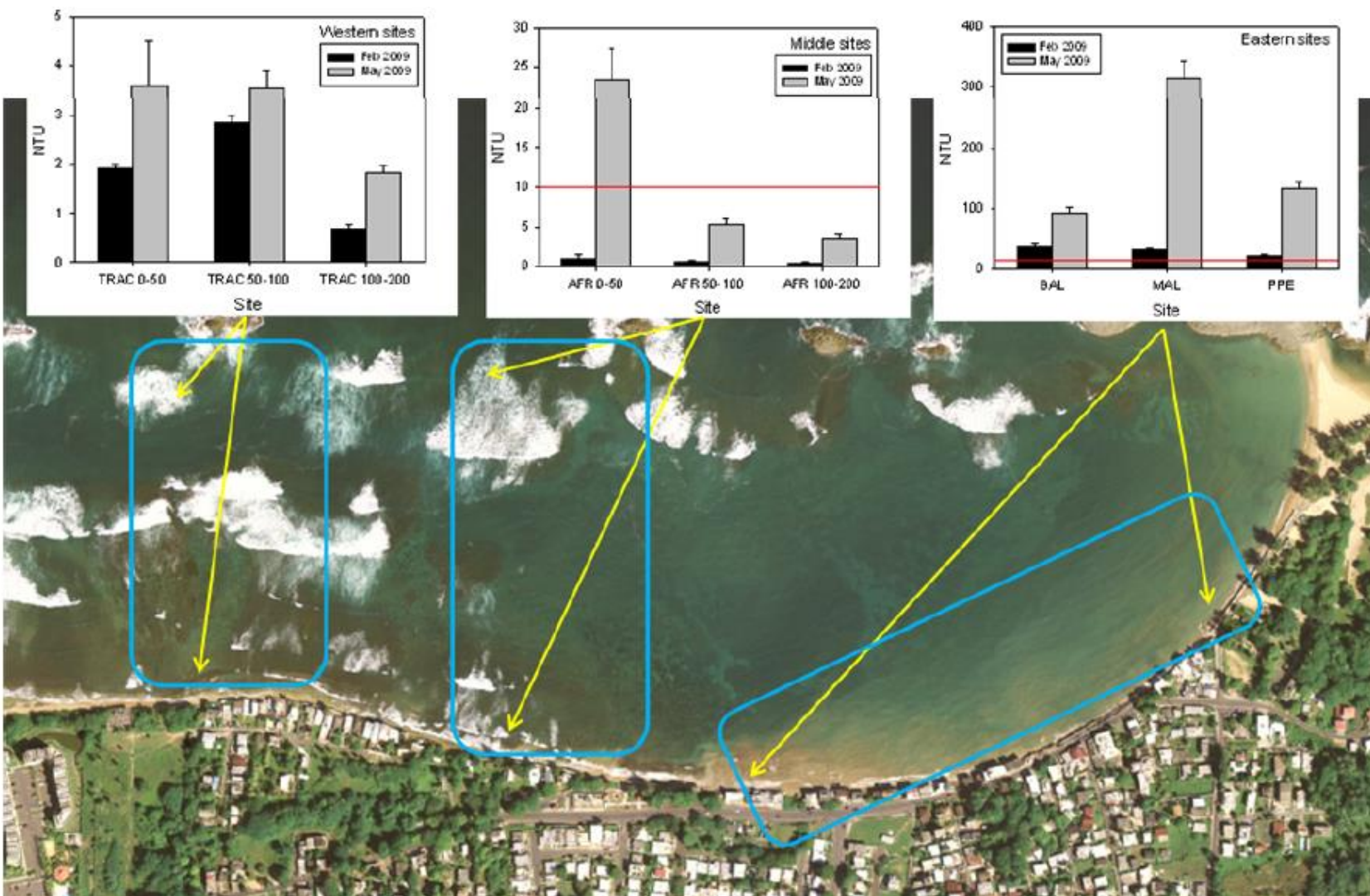
Abusos ambientales en los pasados 15 años



Abusos ambientales en los pasados 15 años

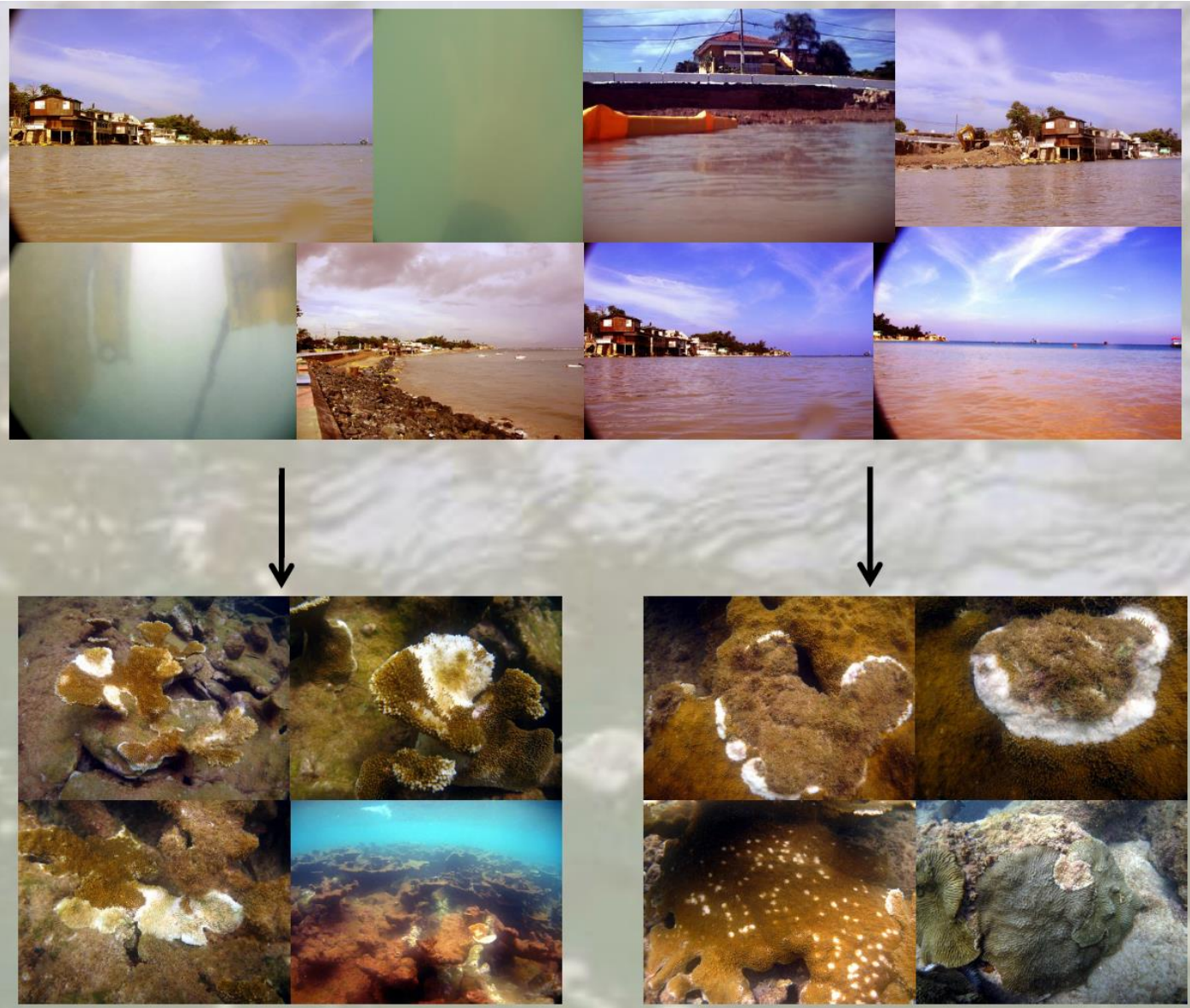


Impactos extensos de la construcción del rip-rap sobre los arrecifes de coral



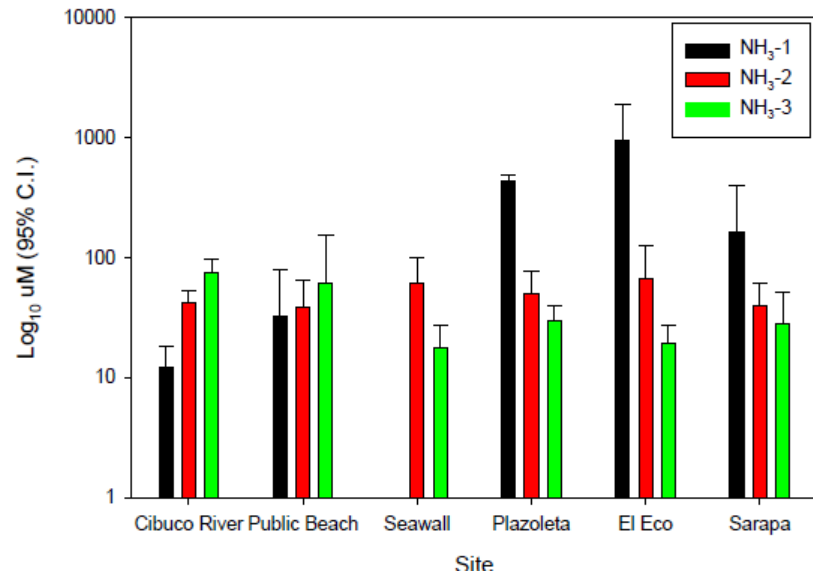
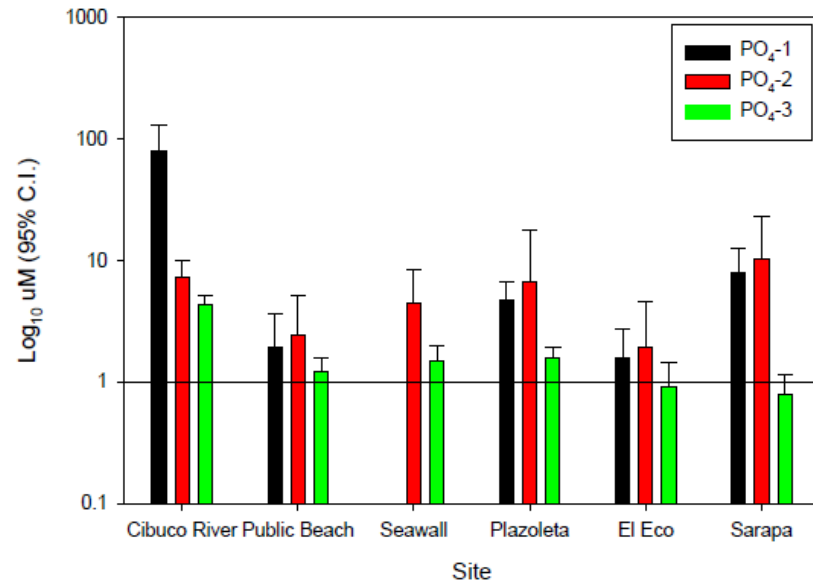
- Gradiente de turbidez desde la zona de impactos de la construcción del rip-rap de Playa Puerto Nuevo
- Impacto dramático sobre los arrecifes de coral
- Se excedieron los límites legales de turbidez por más de 10X a 30X
- Ninguna acción legal contra los constructores

Impactos extensos de la construcción del rip-rap sobre los arrecifes de coral



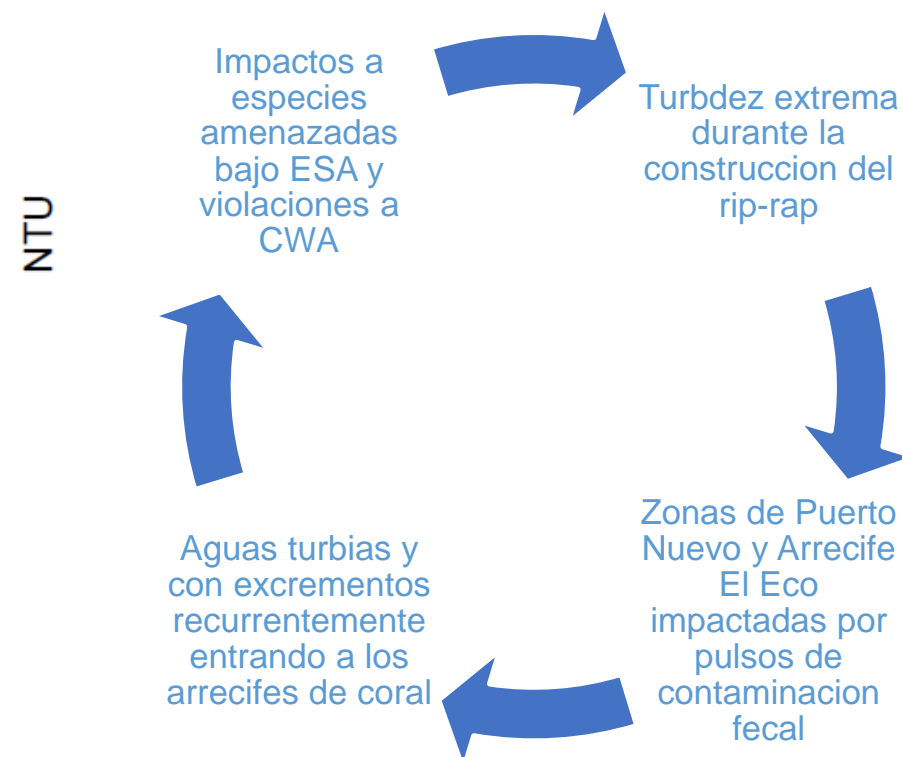
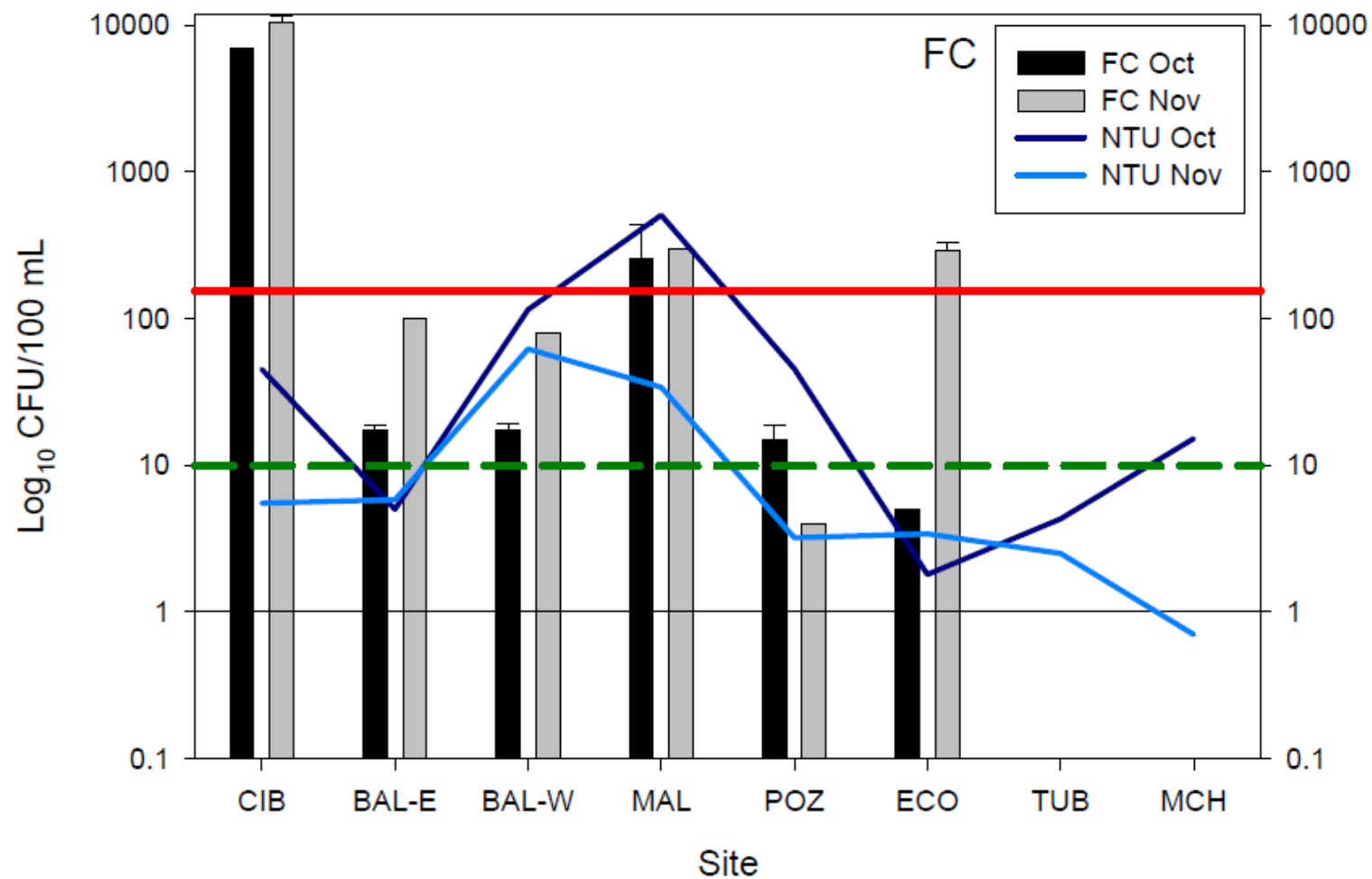
- Impacto inmediato sobre las poblaciones del coral cuerno de alce (*Acropora palmata*), especie amenazada bajo ESA
- Impacto directo mediante la “patchy necrosis” causando una mortandad masiva de corales
- Impactos de microbios? Falta de oxígeno disuelto? Concentración excesiva de nutrientes? Una combinación de todos estos?

Impactos extensos de la eutroficación sobre los arrecifes de coral

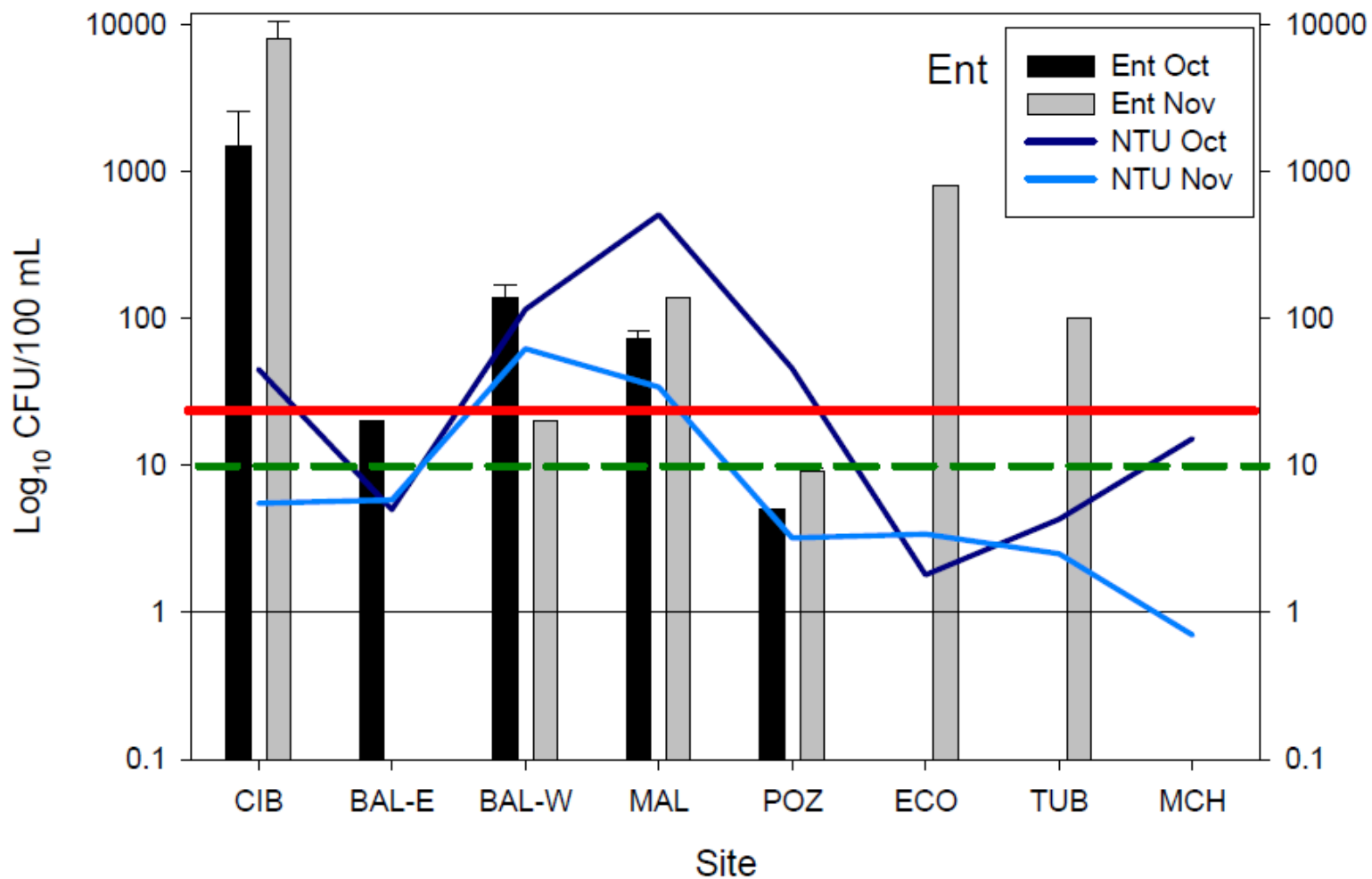


- La combinación de las descargas ilegales de aguas usadas, aguas grises y el depósito de relleno en la costa sin controles de erosión y sedimentación resultan en aportes excesivos de nutrientes disueltos a la costa
- La eutroficación (concentraciones excesivas de nutrientes disueltos) afecta directamente a los arrecifes de coral
- Estos eventos contribuyen a la propagación de bacterias, cianobacterias, algas y a la mortandad de corales

Contaminación ilegal rampante + turbidez crónica en los arrecifes de coral



Contaminación ilegal rampante + turbidez crónica en los arrecifes de coral



¿Contaminación fecal cruda de dónde?



- Drenajes ilegales de tuberías clandestinas de aguas usadas crudas por parte de la Adm. Municipal de Vega Baja en el Balneario Puerto Nuevo
- Impactos recurrentes de la contaminación fecal cruda
- Corrientes litorales arrastran directamente estas descargas a los arrecifes de coral

¿Contaminación fecal cruda de dónde?



- Drenajes ilegales de tuberías clandestinas de aguas usadas crudas por parte de la Adm. Municipal de Vega Baja en el Balneario Puerto Nuevo
- Impactos recurrentes de la contaminación fecal cruda
- Corrientes litorales arrastran directamente estas descargas a los arrecifes de coral

Consecuencias de la contaminación fecal en los arrecifes de coral



- Las aguas usadas crudas causan mortandad de corales debido a la propagación de microbios oportunistas y patógenos de corales
- Aumentan la concentración de nutrientes en las aguas costeras sobrecalentadas por el cambio climático
- Se dispara el crecimiento de bacterias, cianobacterias y algas que compiten o matan a los corales

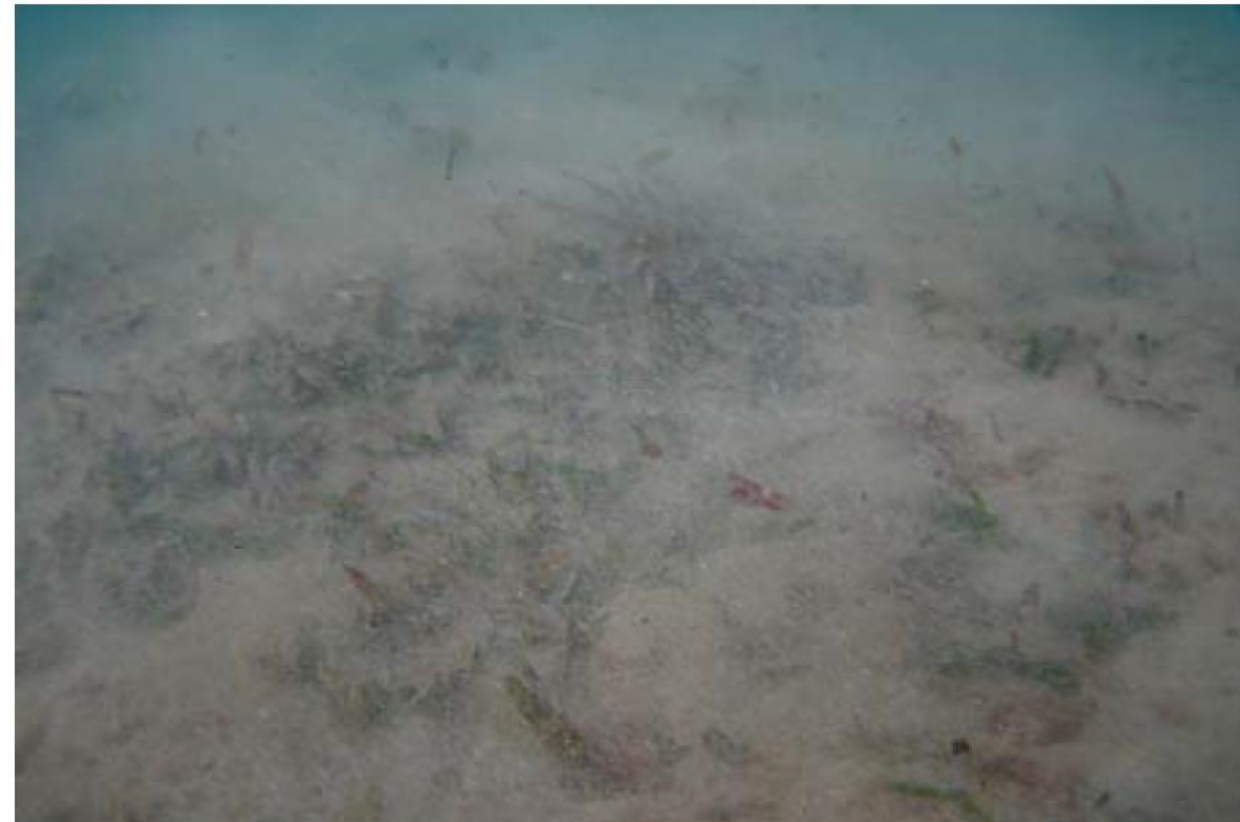
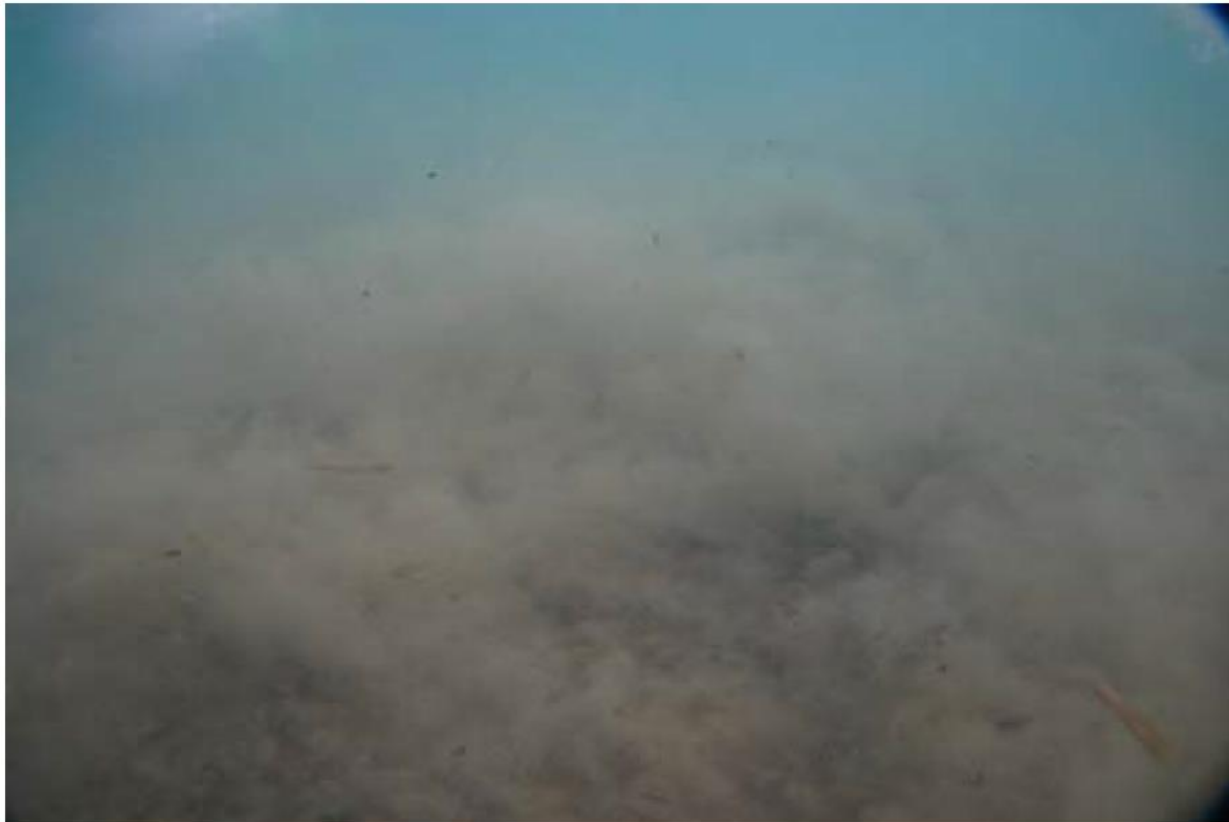
Consecuencias de la turbidez crónica en los arrecifes de coral



Consecuencias de la turbidez crónica en los arrecifes de coral



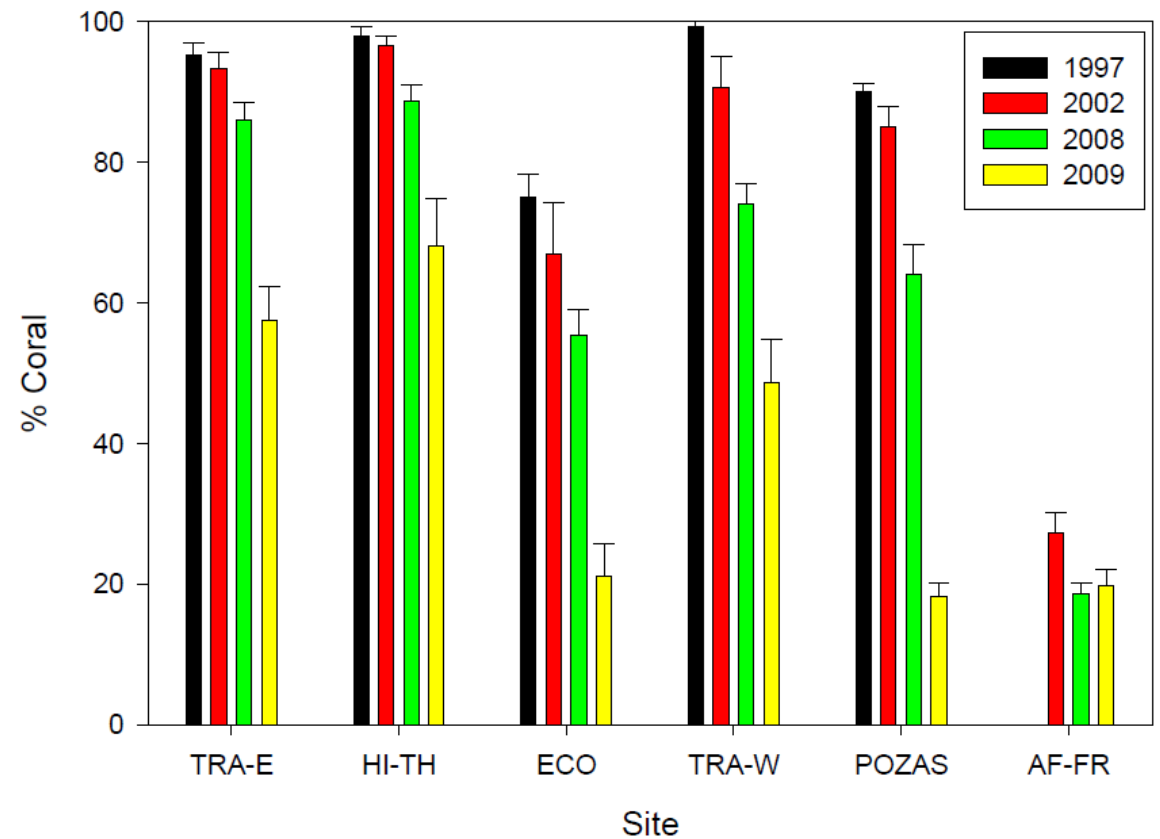
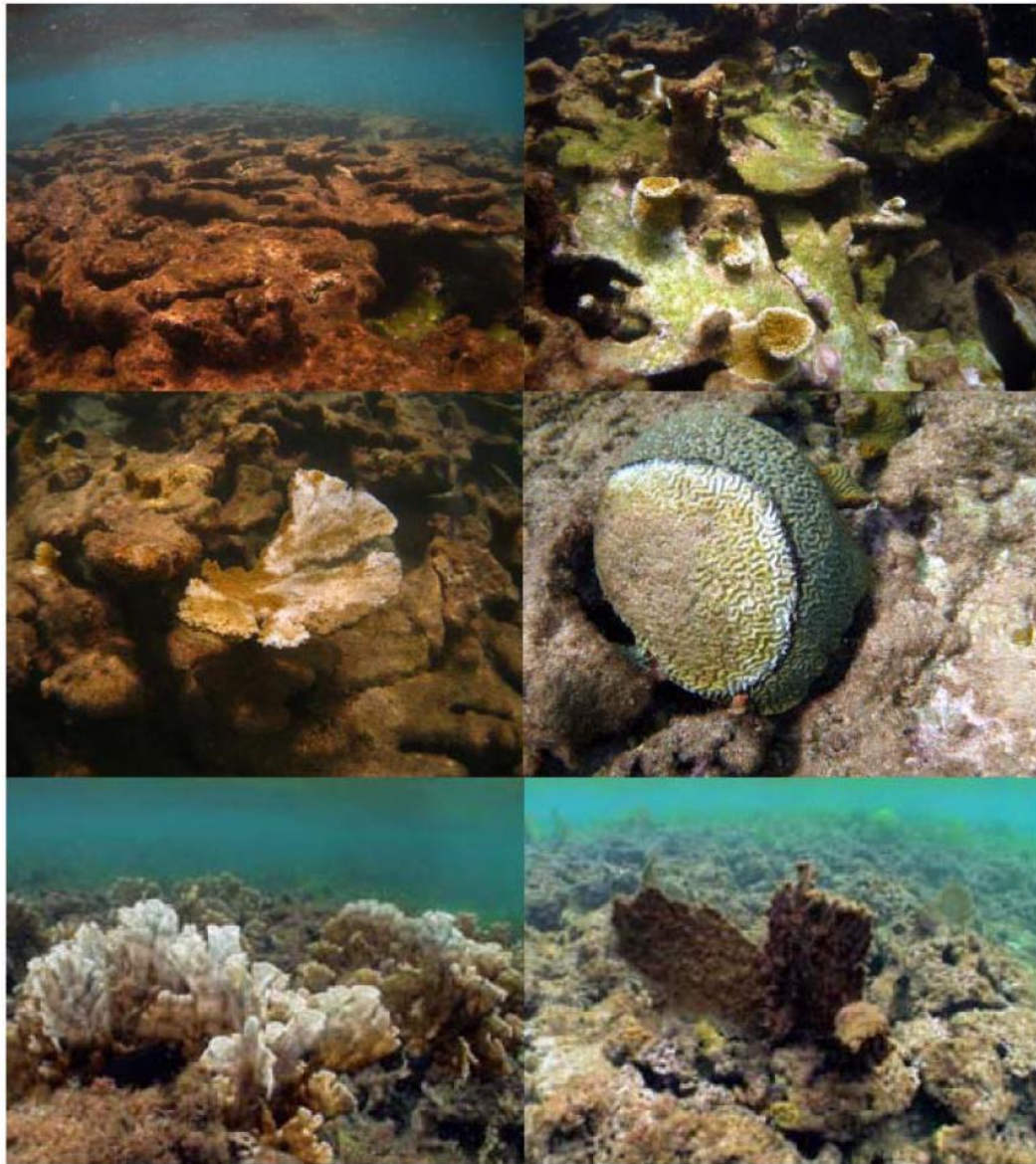
Consecuencias de la turbidez crónica en los arrecifes de coral



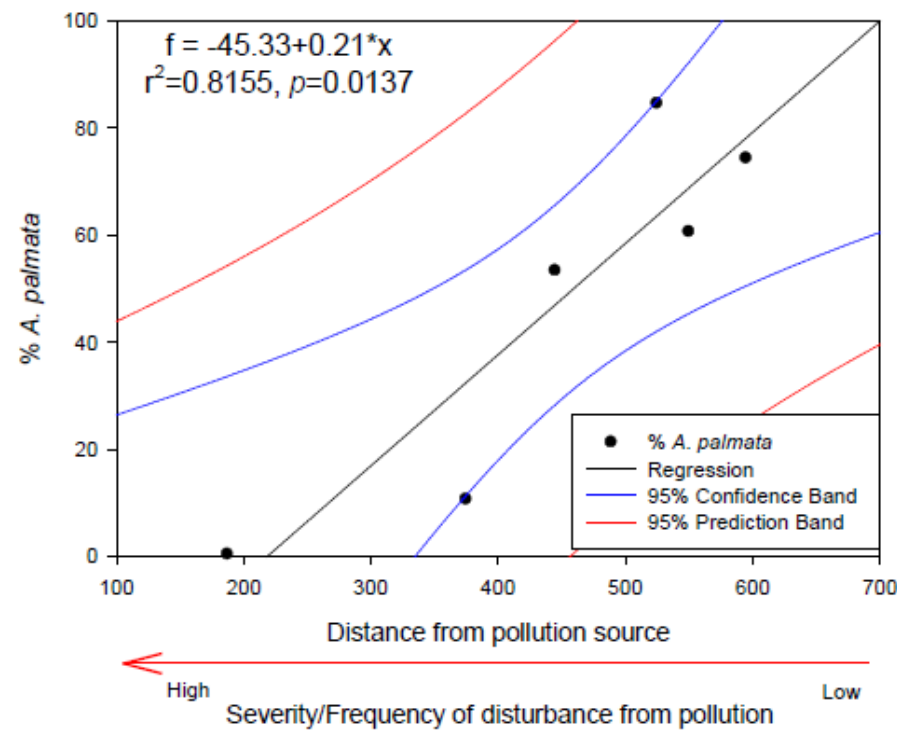
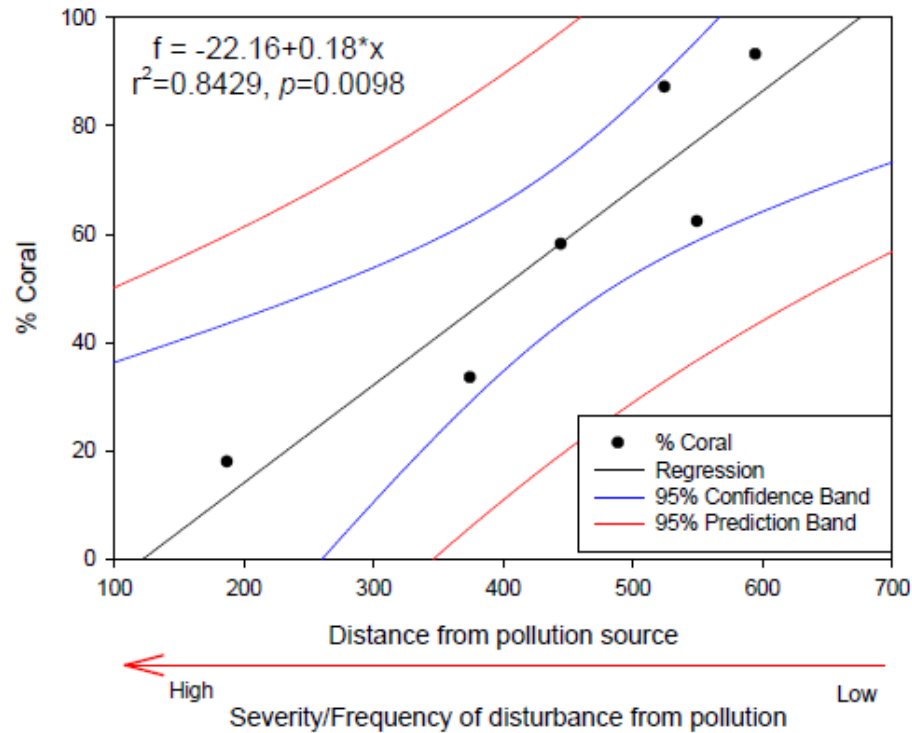
Consecuencias de la turbidez crónica en los arrecifes de coral



Consecuencias de la turbidez crónica en los arrecifes de coral



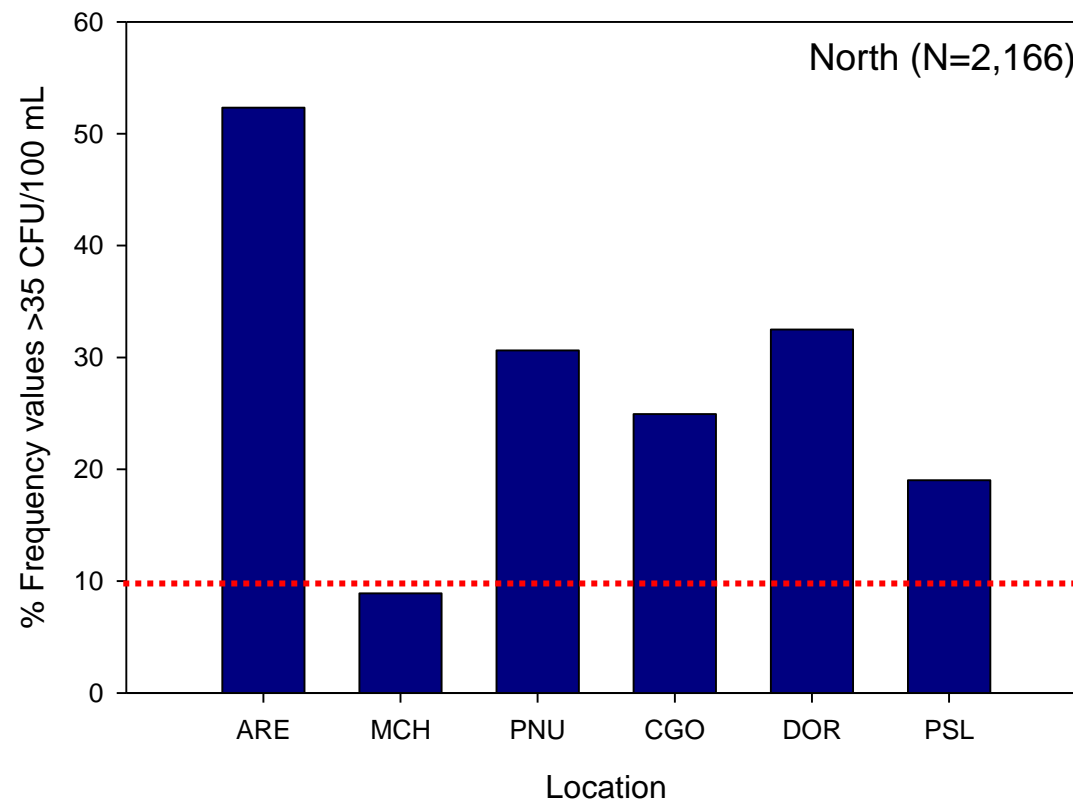
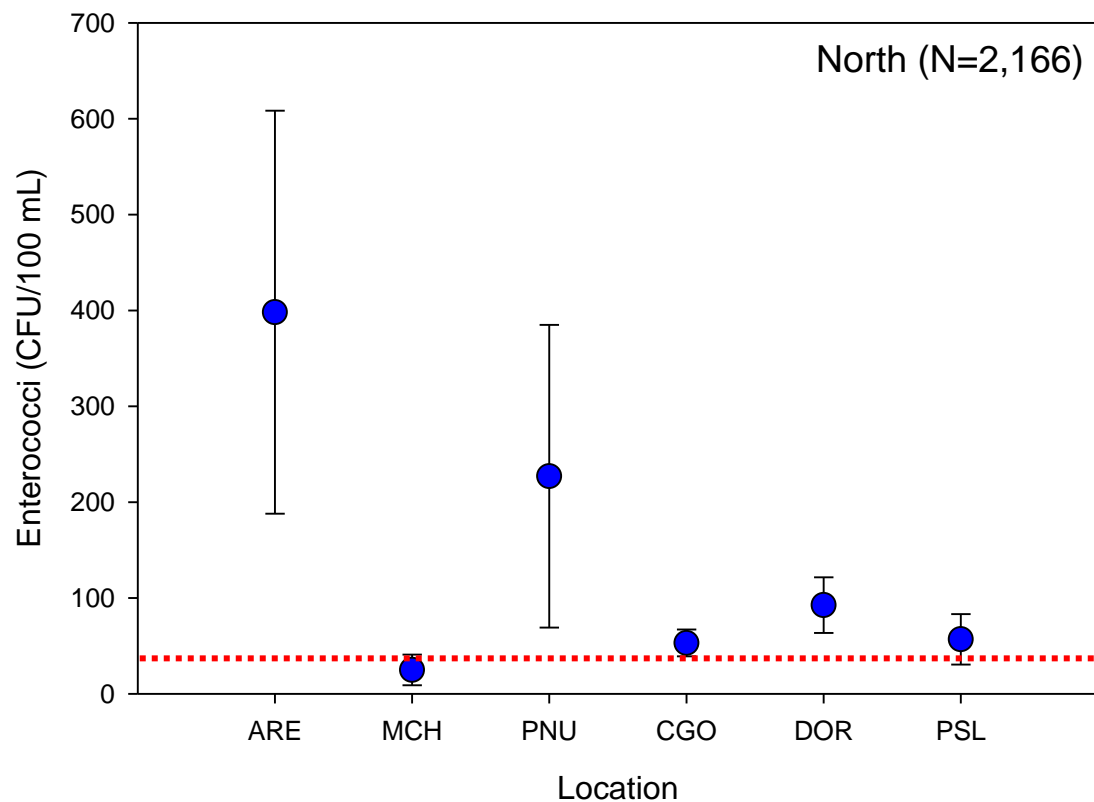
Cambio significativo en la estructura de la comunidad del arrecife en función de la distancia de fuentes de contaminación fecal – Vega Baja



Sites	<i>A. palmata</i>
Temperature (°C)	NS*
Salinity	0.8918, $p = 0.0169$
Conductivity	0.7956, $p = 0.0584$
Turbidity	NS
pH	NS
Dissolved oxygen	0.8300, $p = 0.0409$
Chl- <i>a</i>	NS
OABs	-0.8895, $p = 0.0106$
PO ₄	-0.9174, $p = 0.0099$
NH ₃	NS
NH ₄ ⁺	-0.9084, $p = 0.0122$
NO ₃	-0.8770, $p = 0.0218$
NO ₂	-0.9188, $p = 0.0096$
Total N	-0.9291, $p = 0.0074$

Enterococos en la costa norte de PR (2006-2023)

En promedio, 83% de las localidades monitoreadas exceden el limite maximo legal de enterococos
En promedio, 28% de las muestras excedieron el limite legal (rango 9 a 52%)

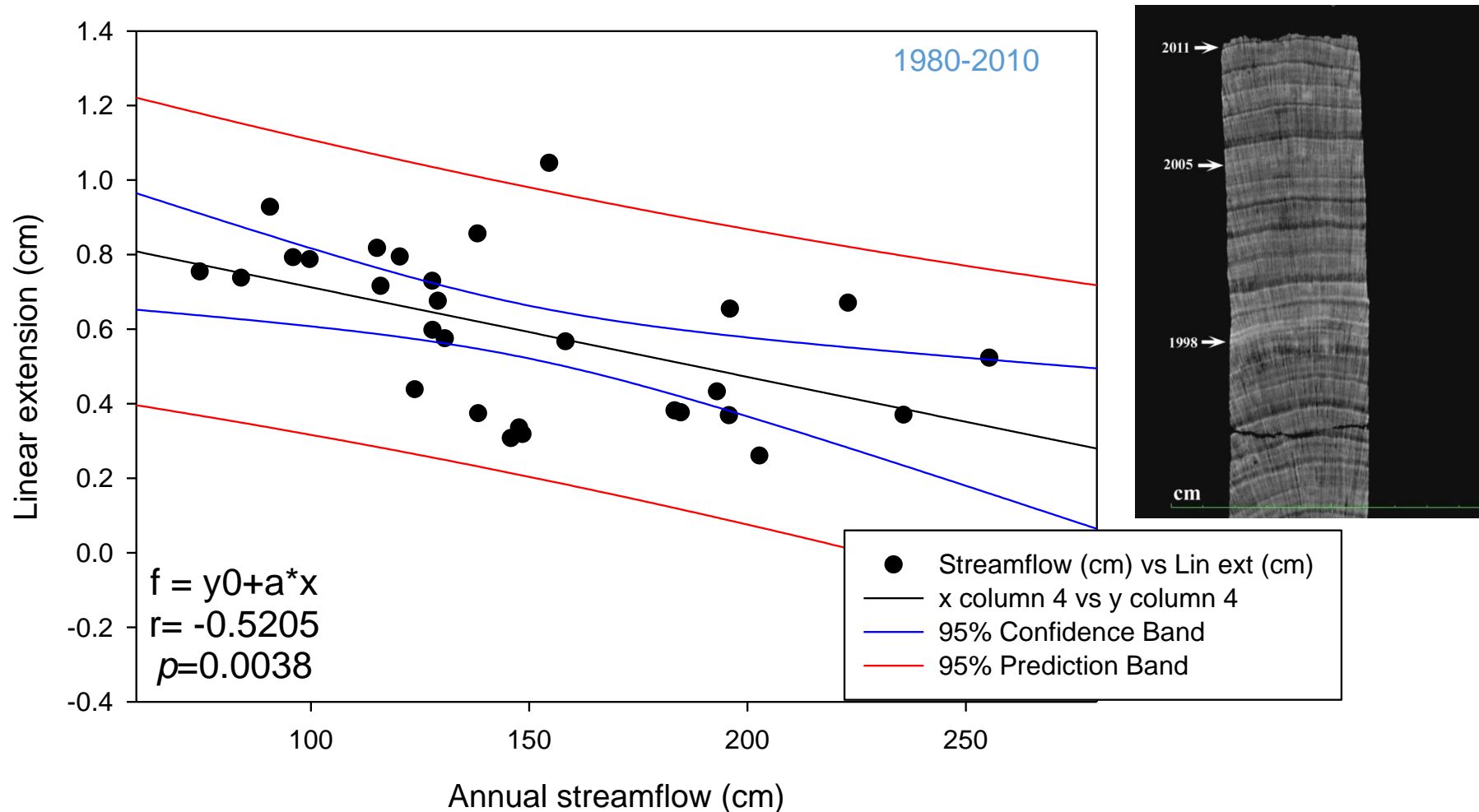


Fuente: EQB/CARICOOS

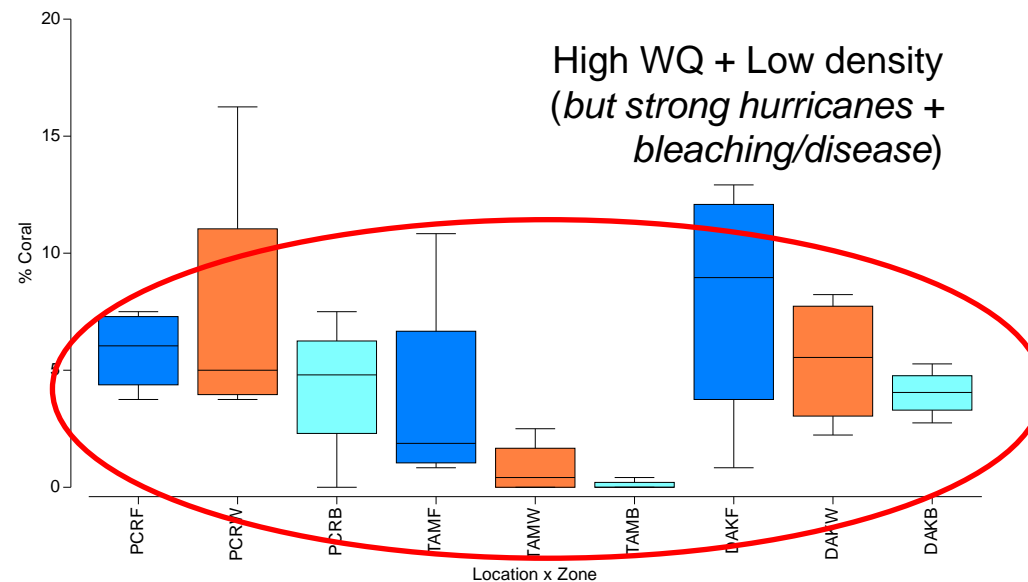
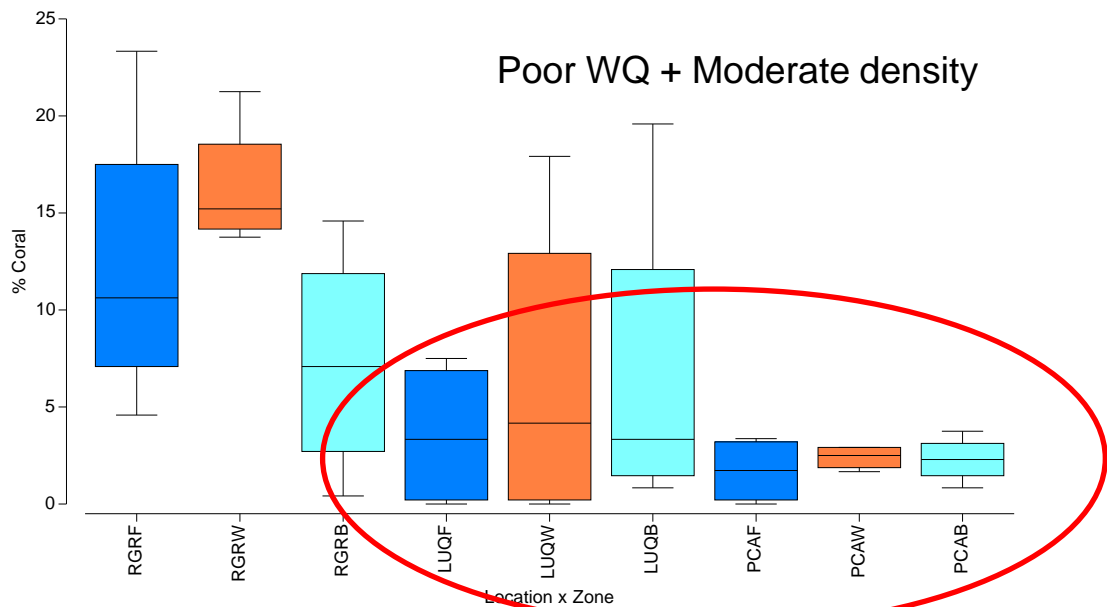
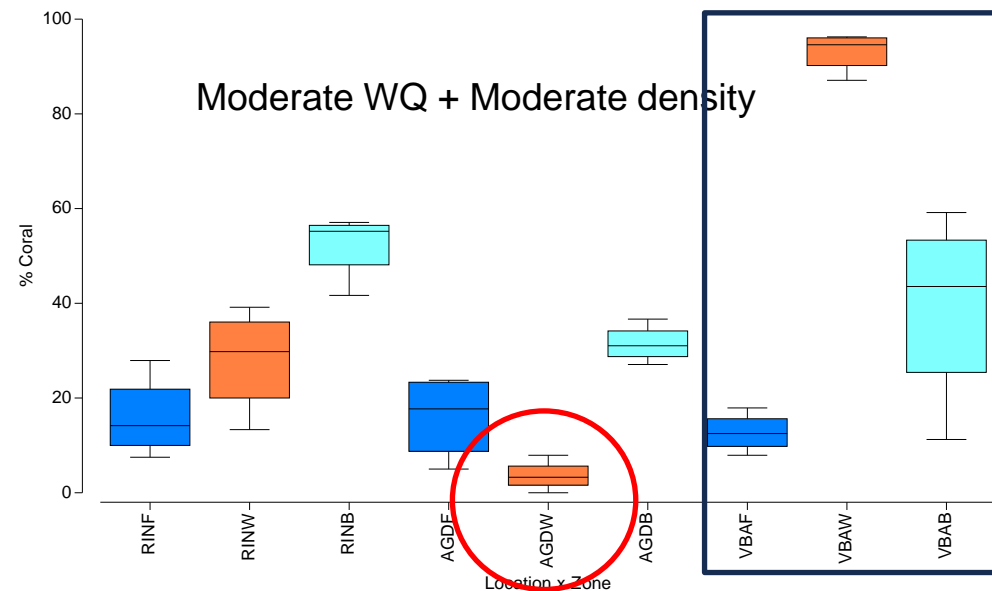
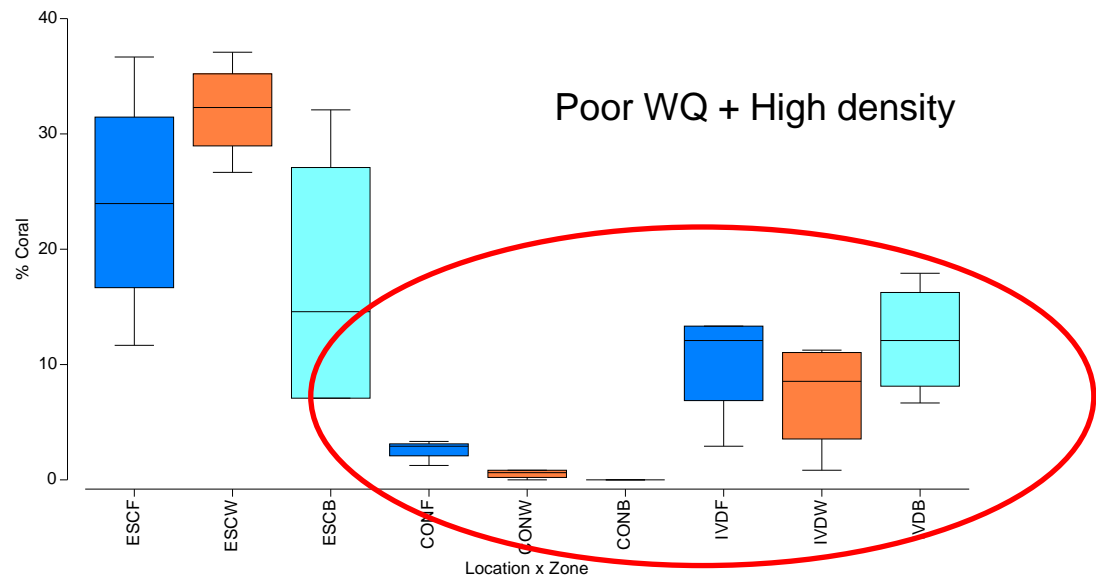
Casos de estudio en Puerto Rico: Degradación de los arrecifes de coral a través de gradientes de contaminación fecal, sedimentación y turbidez

- **Bonkosky et al. (2009)** – *Mar. Poll. Bull.* 58(1):45-54. Contaminación fecal humana y de animales mas allá de la plataforma oeste PR
- **Hernández-Delgado et al. (2010)** – *Proc. 11th Int. Coral Reefs Symp.* 747-751. Gradiente de degradación de arrecifes con aumento en la contaminación fecal – Plataforma oeste PR
- **Hernández-Delgado et al. (2010a)** – Informe técnico sometido a USACE sobre contaminación fecal, sedimentación y turbidez en Vega Baja
- **Hernández-Delgado et al. (2010b)** – *Proc. Gulf Caribb. Fish. Inst.* 63:83-92. Estudio sobre cambios en la condición de los arrecifes de coral a través del tiempo en Vega Baja
- **Hernández-Delgado et al. (2010c)** – *Proc. Gulf Caribb. Fish. Inst.* 63:511. Estudio sobre el impacto de la construcción del rompeolas de Playa Puerto Nuevo en los arrecifes de coral adyacentes en Vega Baja
- **Hernández-Delgado y Sandoz-Vera (2011)** – 62-72. En, *J. Sequinot-Barbosa (ed.), Islas en Extinción: Impactos Ambientales en las Islas de Puerto Rico. Ediciones SM, Cataño, PR.* Revisión sobre el impacto de la contaminación fecal en las costas de PR con varios casos de estudio
- **Méndez-Lázaro et al. (2012)** – *Rev. Int. Cien. Tecnol. Inf. Geog. Geo-Focus*, 12:71-92. Contaminación fecal en la Reserva Natural de Tres Palmas, Rincón
- **Díaz-Ortega y Hernández-Delgado et al. (2014)** – *Natural Resources* 5(10):561-581. Impactos de la eutroficación y la contaminación del agua en los arrecifes de coral de Vega Baja
- **Hernández-Delgado (2015)** – *Mar. Poll. Bull.* 101:5-28. Consecuencias del cambio climático en la calidad del agua en las costas y otros temas
- **Hernández-Delgado et al. (2017)** – *Env. Mgmt. Sust. Dev.* 6(2):292-333. Impactos de la contaminación fecal, sedimentación y turbidez en la Isla de Culebra
- **Norat et al. (2019)** – *Ocean Coast. Mgmt.* 169:201-213. Impactos de las descargas de pozos sépticos en las costas de la Reserva Natural Tres Palmas, Rincón

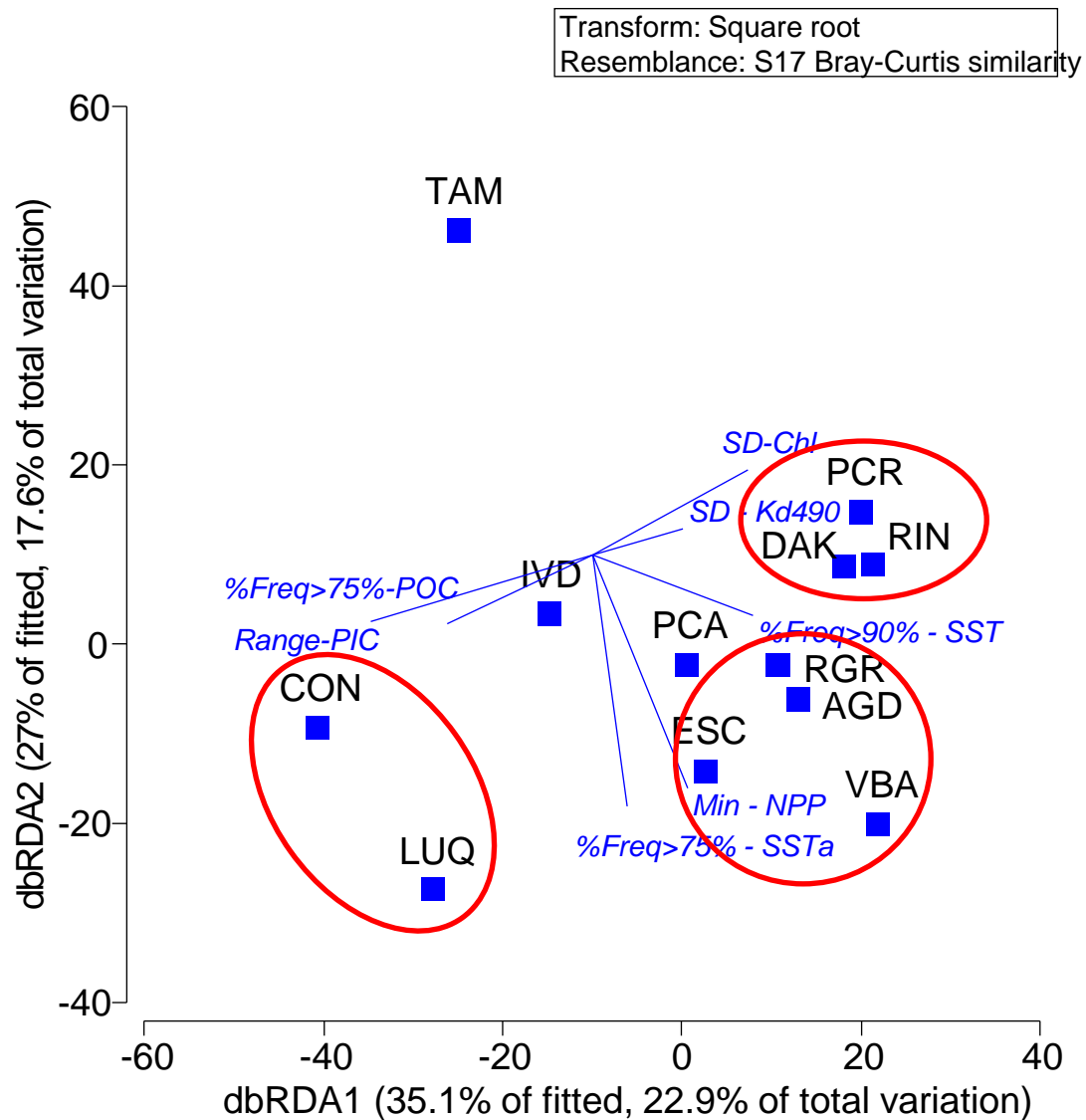
Impactos de los cambios en el flujo anual del Río Fajardo en las tasas de crecimiento de *Orbicella annularis*



Arrecifes Ilanos empobrecidos: Amenaza a la infraestructura y a la vida



Análisis DISTLM sugiere una relación significativa entre la calidad del agua, el estado empobrecido de la comunidad y la habilidad de regeneración natural del arrecife



(Whitley & Hernández-Delgado; in preparation)

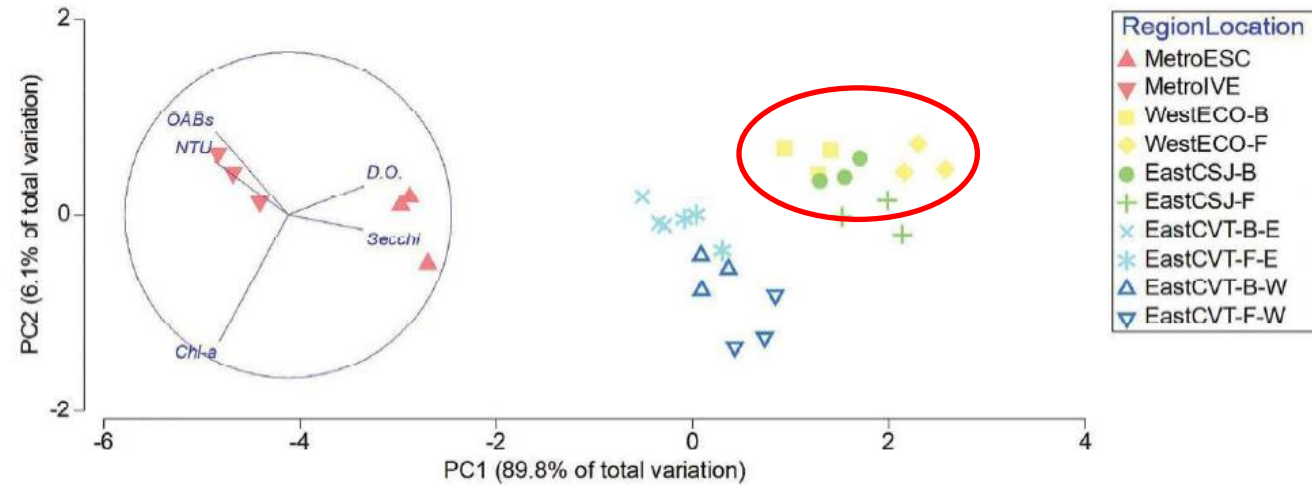
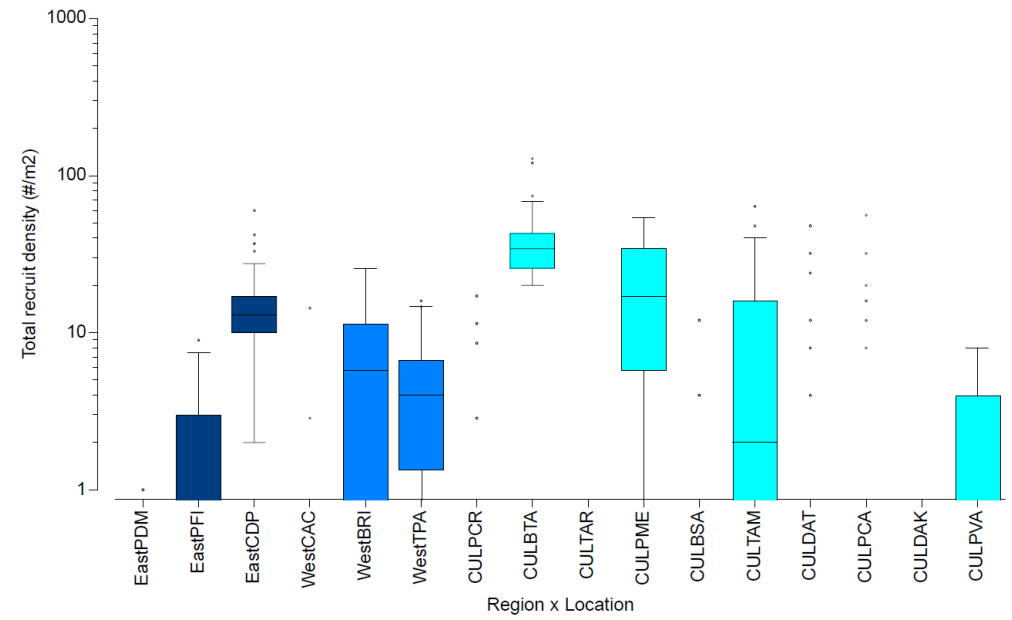
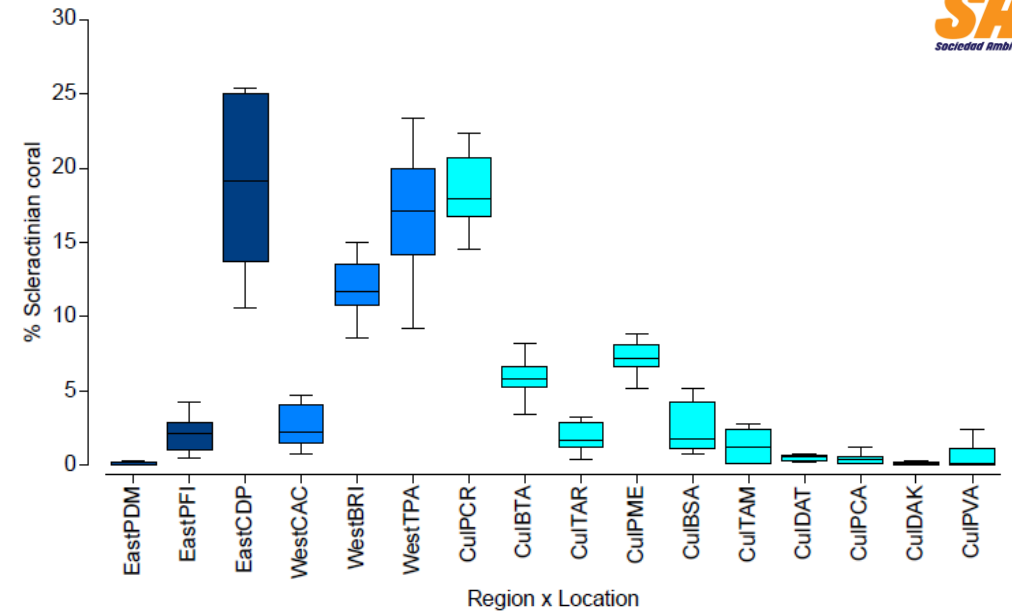
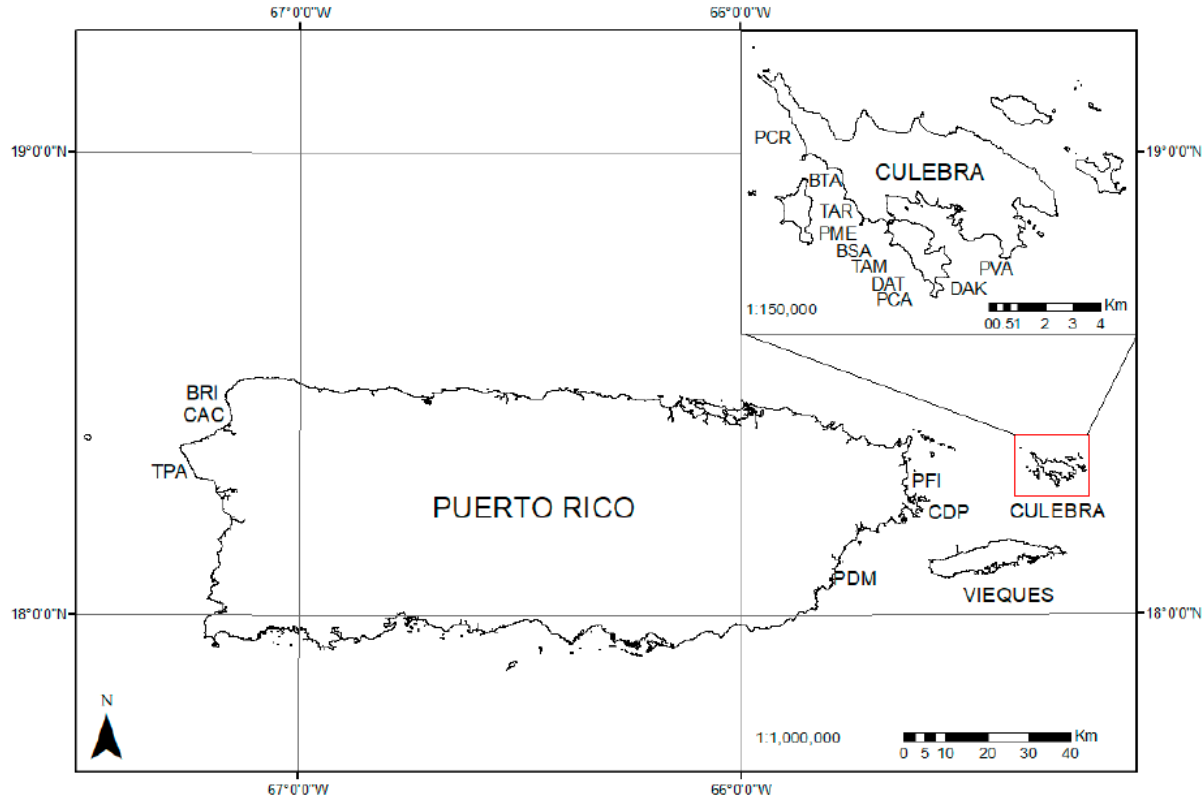


Tabla 3. Resumen del análisis de modelos lineares basados en la distancia (DISTLM) para determinar la influencia de la calidad del agua en la estructura de la comunidad de reclutas de corales.

Variable	SS	Pseudo-F	p	Proporción
Transparencia horizontal (m)	2891.2	9.87	0.0047	0.5522
Turbidez (NTU)	2371.0	6.62	0.0143	0.4529
[Oxígeno disuelto] (mg/L)	2964.6	10.44	0.0065	0.5663
Clorofila-a (µg/L)	2398.9	6.77	0.0237	0.4582
[OABs] ppm	2696.2	8.49	0.0091	0.5150

(González-Figueroa & Hernández-Delgado, 2021)

Los arrecifes degradados y los afectados por huracanes muestran una capacidad muy limitada de recuperación natural mediante el reclutamiento de corales



Análisis DISTLM sugiere una relación significativa entre la calidad del agua y la habilidad de regeneración natural del arrecife

Table S5. Distance-based linear model analysis (DISTLM) of the impact of the normalized maximum annual values of remotely sensed water quality parameters (2017-2020) on coral recruit abundance.

Marginal tests	SS(trace)	Pseudo-F	<i>p</i>	Proportion
SST anomaly	216.9	0.22	0.8012	0.0178
Kd ₄₉₀	447.1	0.46	0.6166	0.0366
Chl- <i>a</i>	3235.2	4.32	0.0359	0.2649
NPP	247.3	0.25	0.7872	0.0202
POC	237.2	0.24	0.8069	0.0194
PIC	572.3	0.59	0.5249	0.0469

¹ Residual df= 12.

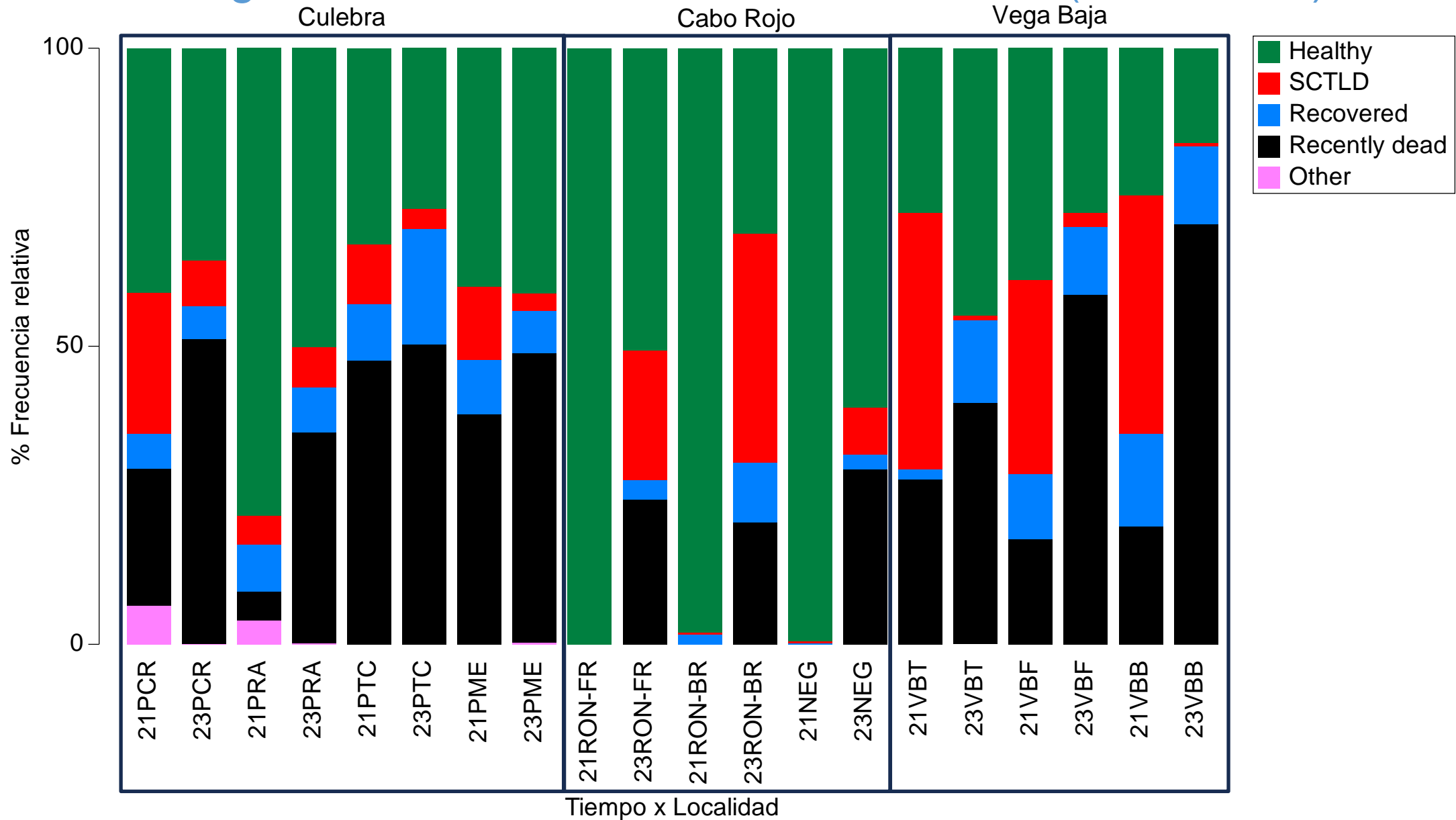
Sequential tests	R ²	SS(trace)	Pseudo-F	<i>p</i>	Prop.	Cumul.	Res. df
+SST anomaly	0.01776	216.9	0.22	0.8031	0.0178	0.0178	12
+Kd ₄₉₀	0.06716	603.5	0.58	0.5271	0.0494	0.0672	11
+Chl- <i>a</i>	0.44001	4554.2	6.66	0.0083	0.3729	0.4400	10
+NPP	0.48856	593.0	0.85	0.3829	0.0485	0.4886	9
+POC	0.51342	303.7	0.41	0.6367	0.0249	0.5134	8
+PIC	0.59525	999.5	1.42	0.2561	0.0818	0.5953	7

- Análisis DISTLM muestra relación potencial entre la estructura de la comunidad de reclutas y el impacto combinado de:

- SSTa +
- Kd490 +
- [Chl-*a*] ~51% de la variación espacial

- Las perturbaciones crónicas en la calidad del agua pueden ser un tensor ambiental crítico para la recuperación natural de los arrecifes llanos

Pérdida significativa de corales debido a SCTLD (2021-2023)

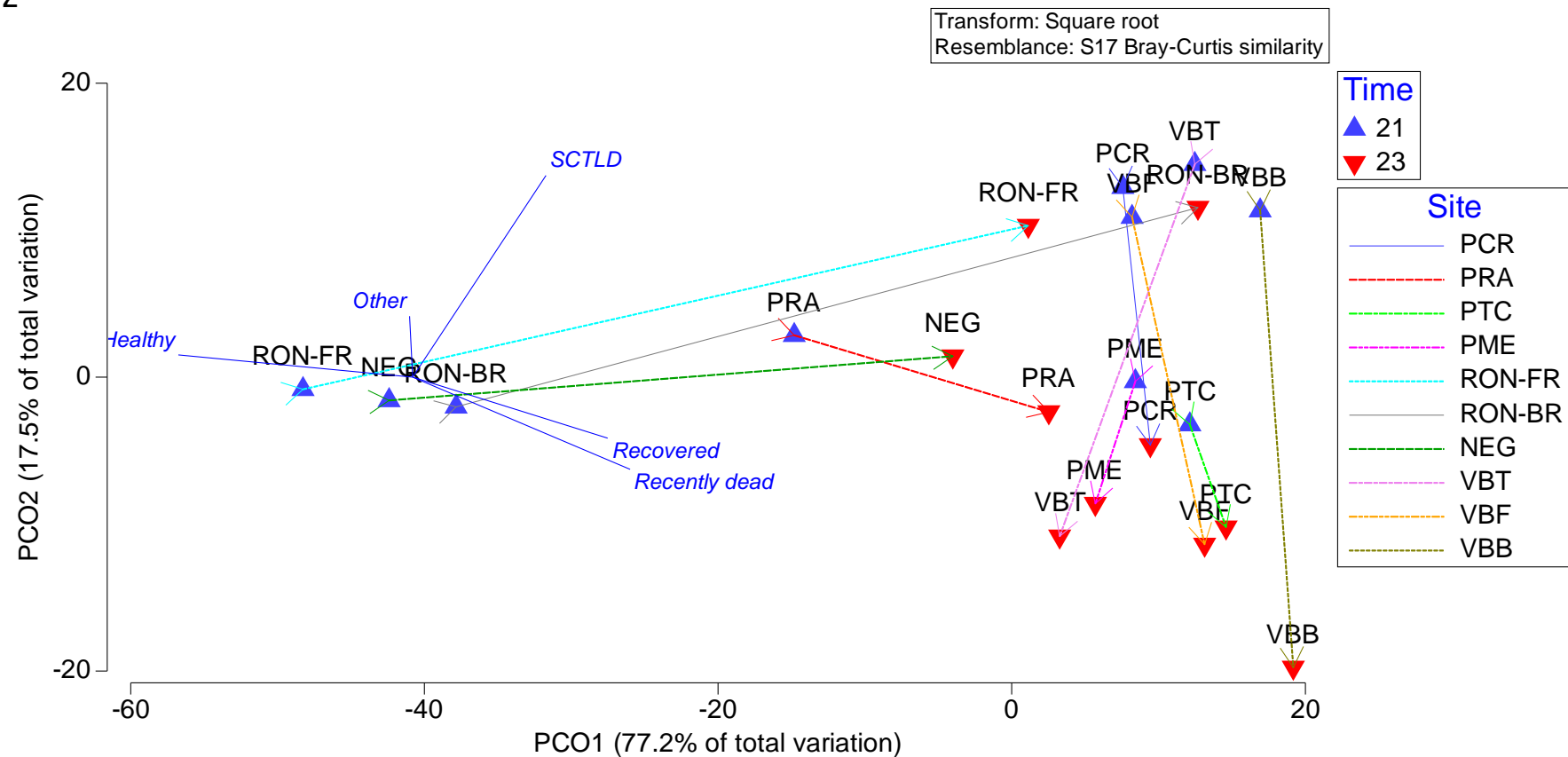


Cambio en la trayectoria de la comunidad de corales debido a SCTL D (2021-2023)



PERMANOVA table of results

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	Unique perms
Ti	1	13004	13004	62.161	<0.0001	9971
Si	9	35553	3950.4	18.883	<0.0001	9936
TixSi	9	23919	2657.7	12.704	<0.0001	9918
Res	130	27196	209.2			
Total	149	92662				



Shutdown Reaction

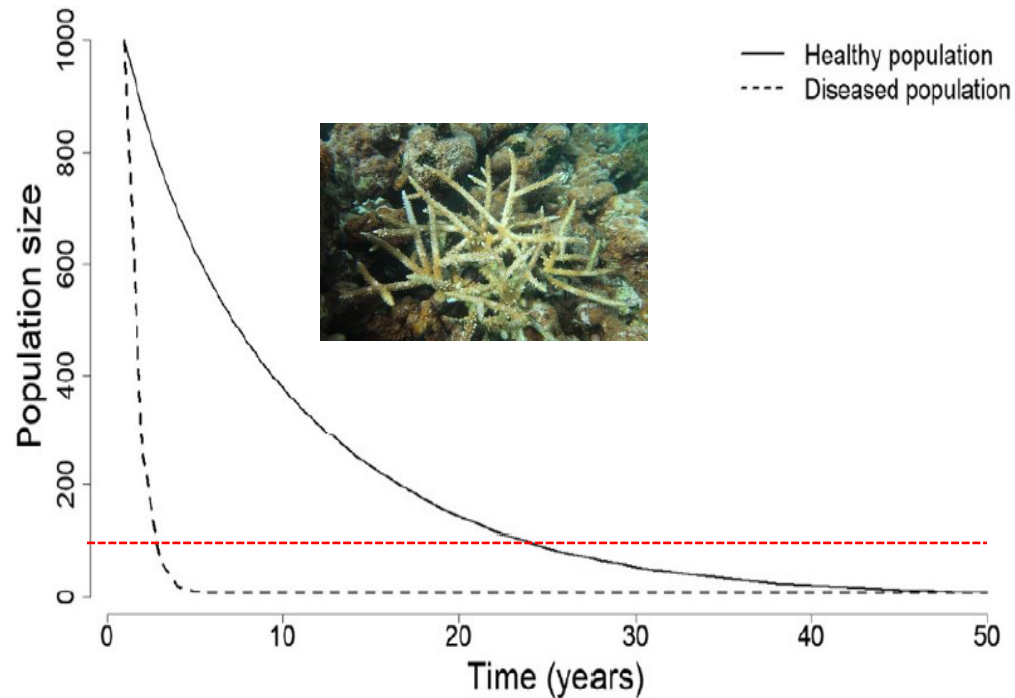
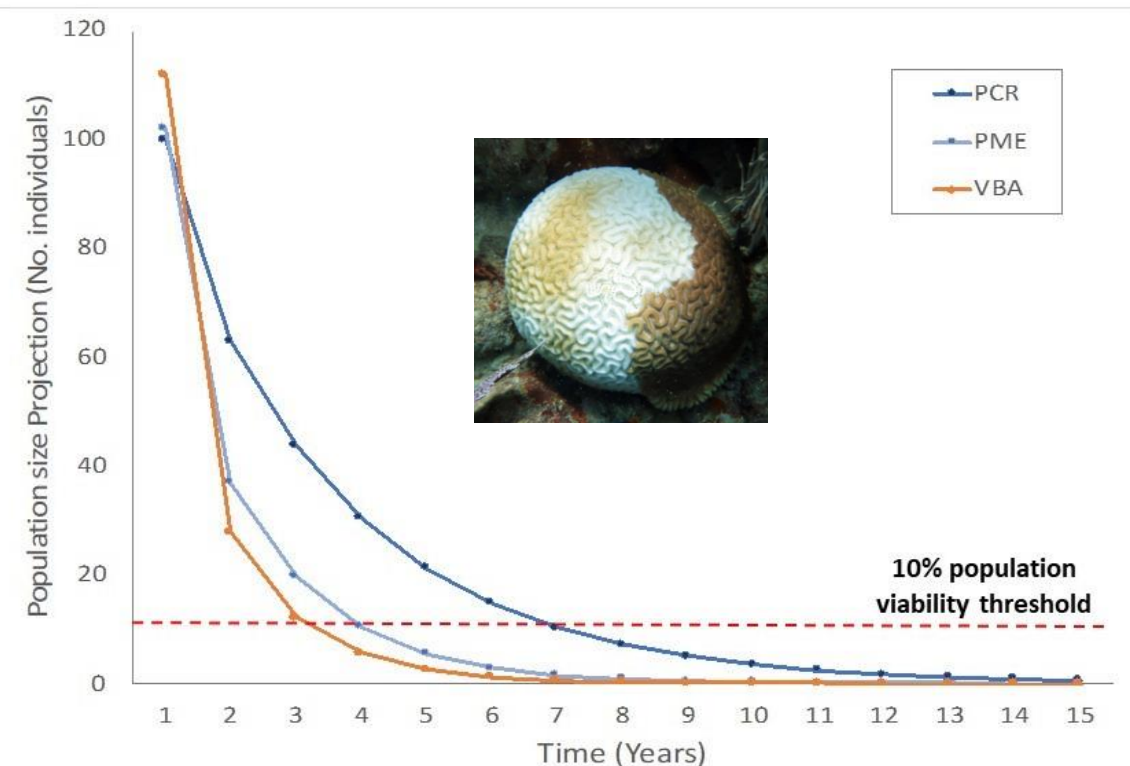


Fig. 5 Simulated population trajectories of *Acropora cervicornis* based on the size-class transition pattern observed for the diseased (dashed line) and healthy (straight line) populations.

Demographic projection: *Acropora cervicornis*
 Healthy population: Viability ~25 years
 Diseased population: Viability ~4 years

Stony Coral Tissue Loss Disease



Demographic projection: SCTLD-infected *Pseudodiploria strigosa*
 Infected population Culebra: Viability ~4 to 7 years
 Infected population Vega Baja: Viability ~3 years

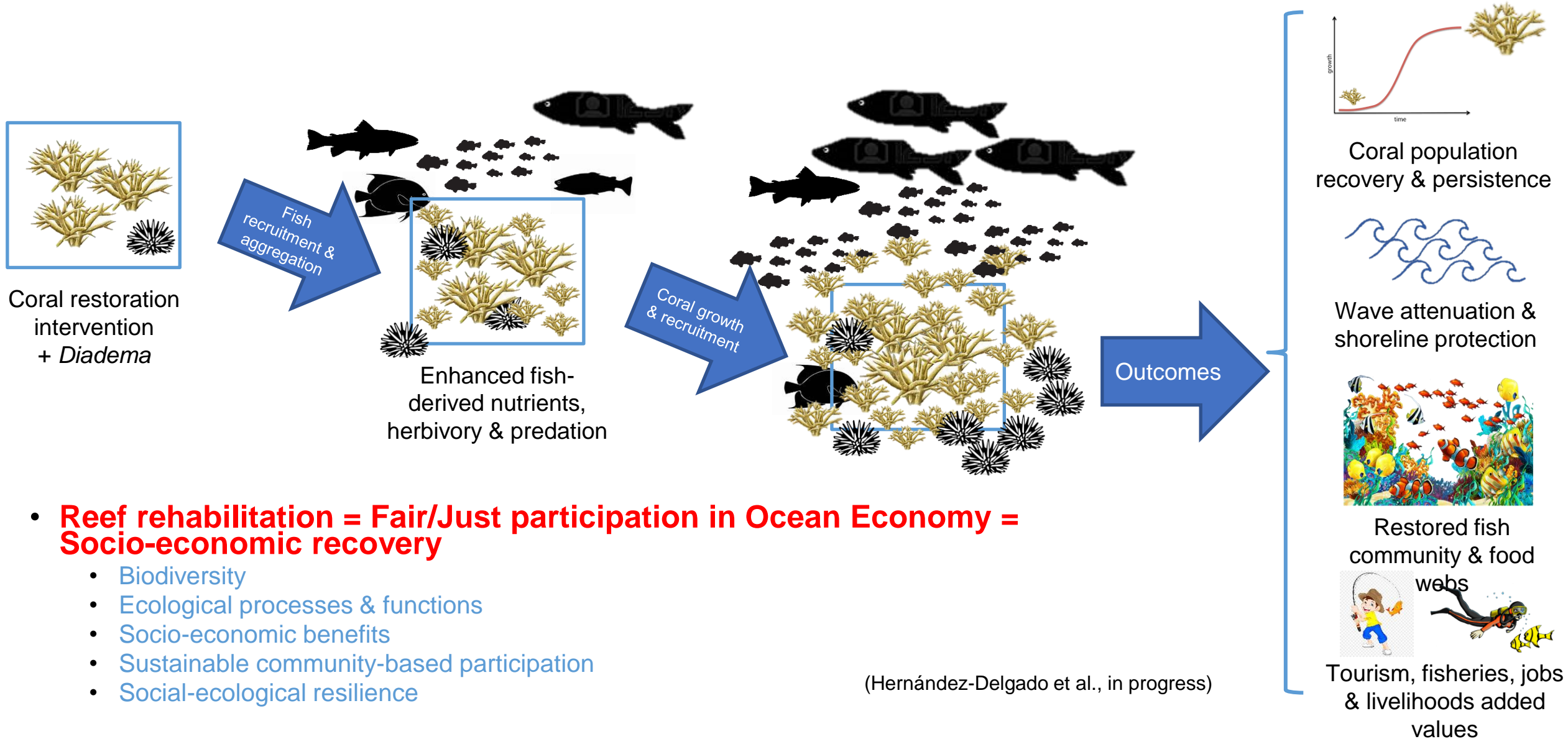
Síntesis

- Contaminación fecal, turbidez y sedimentación crónica en las costas de Vega Baja
- Eventos estocásticos (incidentes) recurrentes con efectos letales para los corales
- Impactos significativos permanentes – cambios en la estructura de la comunidad y en las funciones ecológicas
- Riesgos potenciales a la salud pública
- Degradación de la calidad del agua es un factor que agrava el impacto asociado al calentamiento del mar
- Requiere la implementación urgente de estrategias de conservación y de restauración ecológica



- La falta de gobernanza en el manejo de la contaminación fecal por parte del gobierno estatal y federal es un crimen ambiental (Ley de Arrecifes de Coral, Clean Water Act, Endangered Species Act)
- La degradación crónica de la calidad del agua en la costa es un factor agravante mayor en el contexto del calentamiento del mar asociado al desarrollo de El Niño y el cambio climático
- Esta combinación de condiciones puede tener consecuencias adversas sobre los arrecifes de coral, las pesquerías marinas, su valoración recreacional y sobre los esfuerzos de restauración ecológica llevados a cabo en Vega Baja

Reto principal – Desarrollar e implantar un *Plan Nacional para la Rehabilitación Ecológica de los Ecosistemas Costeros*



• Reef rehabilitation = Fair/Just participation in Ocean Economy = Socio-economic recovery

- Biodiversity
- Ecological processes & functions
- Socio-economic benefits
- Sustainable community-based participation
- Social-ecological resilience



Colonias restauradas 2020-2023 del coral de pilar (*Dendrogyra cylindrus*) – SAM® Culebra

Recomendaciones a corto plazo

Monitoreo y seguimiento

Protección de áreas marinas de interés y reservas naturales

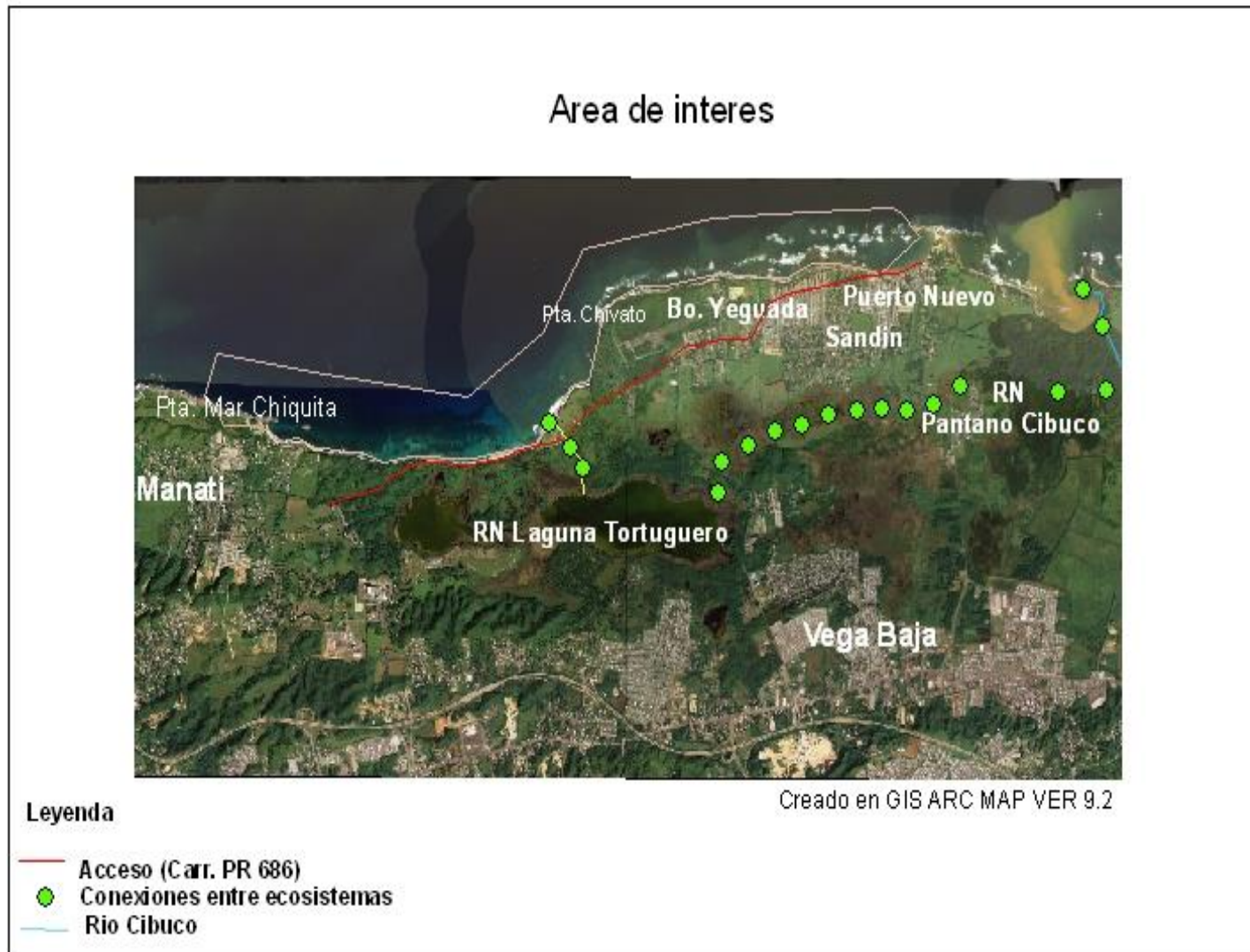
Gestión de la calidad del agua

Sensibilización y educación

Restauración de arrecifes de coral (<https://sampr.org>)



Designación de la Reserva Natural de los Jardines Submarinos de Vega Baja-Manati (2008)



- Propuesto en 2008 por Grupo VIDAS, con el apoyo de SAM, UPR/CATEC, y el Florida Institute of Technology
- DRNA (Javier Velez Arocho) no mostro interes y no se hizo nada
- Proceso retomado por VIDAS con el apoyo de SAM (2023)

Designación de la Reserva Natural de los Jardines Submarinos de Vega Baja-Manati (2008)

Area de interes



Creado en GIS ARC MAP VER 9.2

Leyenda

- Acceso (Carr. PR 686)
- Conexiones entre ecosistemas
- Río Cibuco

- Sobre 40 especies de corales escleractinios, hidrocorales y octocorales
- Mayor extension espacial continua del coral cuerno de alce (*Acropora palmata*) – ESA
- Sobre 80 especies de peces arrecifales, muchas de ellas de importancia economica
- Importantes comunidades de hierbas marinas con tortugas protegidas bajo ESA
- Proteccion critica de la costa contra marejadas invernales y huracanes

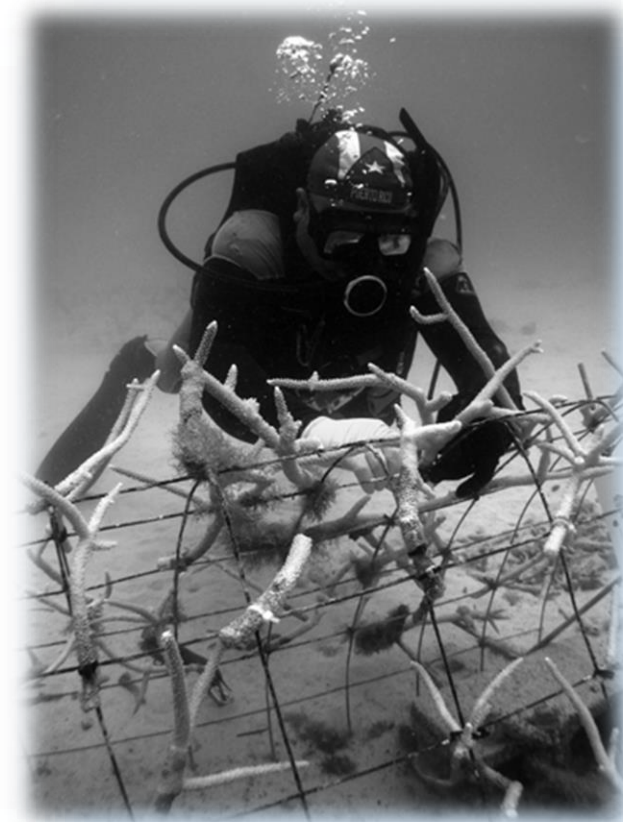
Recomendaciones a largo plazo

Plan de uso de terrenos y desarrollo sostenible

Economía de los océanos justa y participativa

Mitigación del cambio climático

Participación de múltiples sectores sociales



Un mejor Puerto Rico es posible
"Sabemos que las cosas pueden cambiar"



Edwin A. Hernández-Delgado



edwinhernandez@sampr.org

Facebook: [Sociedad Ambiente Marino](#)

<http://sampr.org/es/>

<http://upr.academia.edu/EdwinHernandez>

<http://catec.upr.edu>

