

# Causas y consecuencias de las escorrentías turbias y la sedimentación en los arrecifes de coral en Puerto Rico.

Edwin A. Hernández-Delgado

Universidad de Puerto Rico  
Departamento de Biología  
Grupo de Investigación en Arrecifes de Coral

[coral\\_giac@yahoo.com](mailto:coral_giac@yahoo.com)



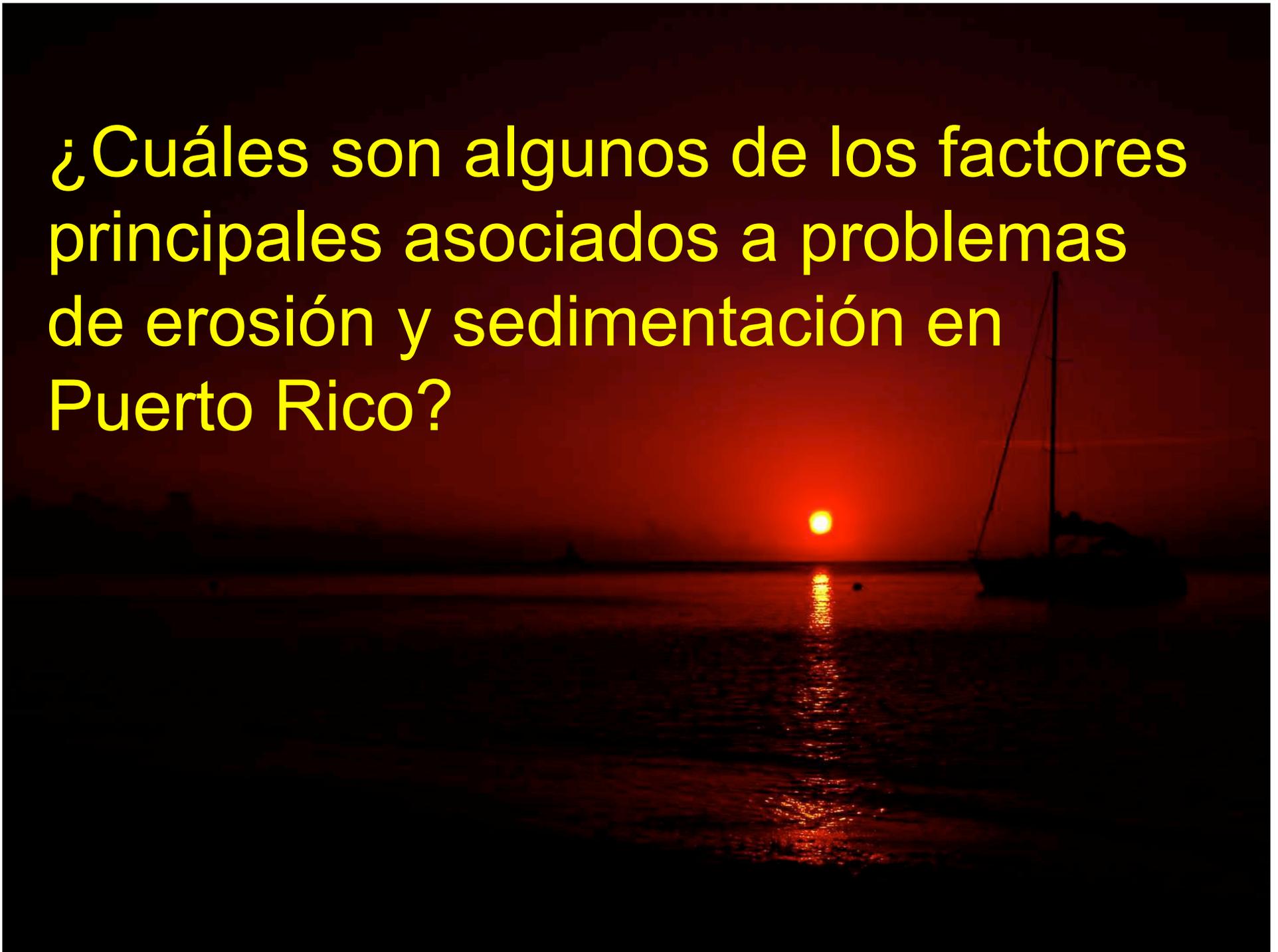
# Objetivos

- Causas principales del problema de las escorrentías y la sedimentación en la costa.
- Efectos en los arrecifes de coral y en comunidades asociadas.
- Recomendaciones de investigación y manejo.

# Definiciones

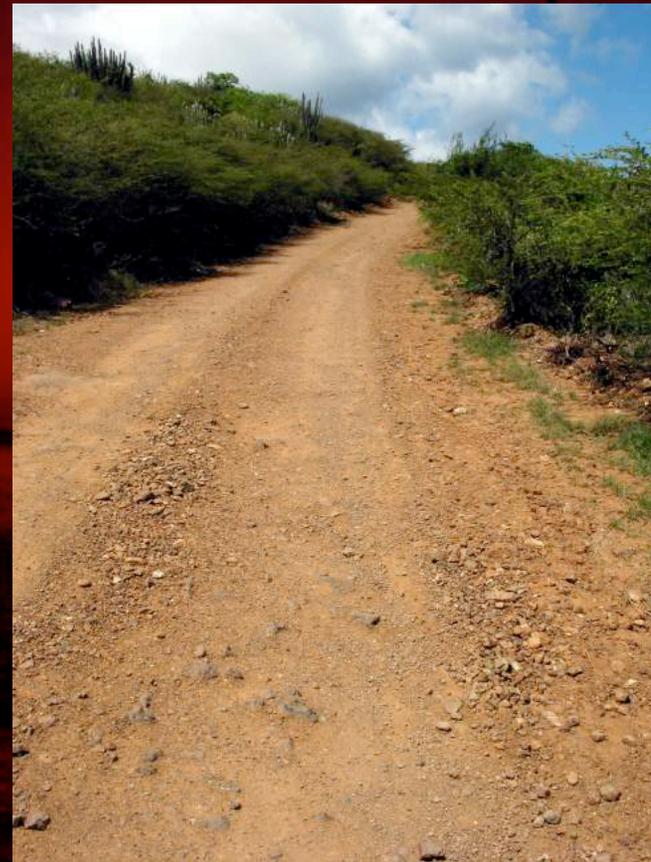
- **Erosión** - desplazamiento de terreno debido a la fuerza de: lluvia o agua en movimiento, viento, fuerza gravitacional o debido a actividades humanas.
- **Sedimentación** - Proceso donde se mezclan con el agua:
  - \* partículas desprendidas del terreno
  - \* partículas de superficies pavimentadas
  - \* partículas de desecho de actividades humanas
- **Escorrentías** - agua de lluvia movida por la fuerza de gravedad sobre superficies inclinadas

¿Cuáles son algunos de los factores principales asociados a problemas de erosión y sedimentación en Puerto Rico?



# Uso de los suelos

- Patrones inadecuados de uso de los suelos.
  - Deforestación.
  - Reducción de capacidad de interceptación e infiltración del suelo.
  - Erosión.



# “Fast tracking”

- “Fast tracking”.
  - Evasión legalizada de cumplir con el requisito de evaluar *adecuadamente* los impactos ambientales.
  - Eliminación de la participación ciudadana.



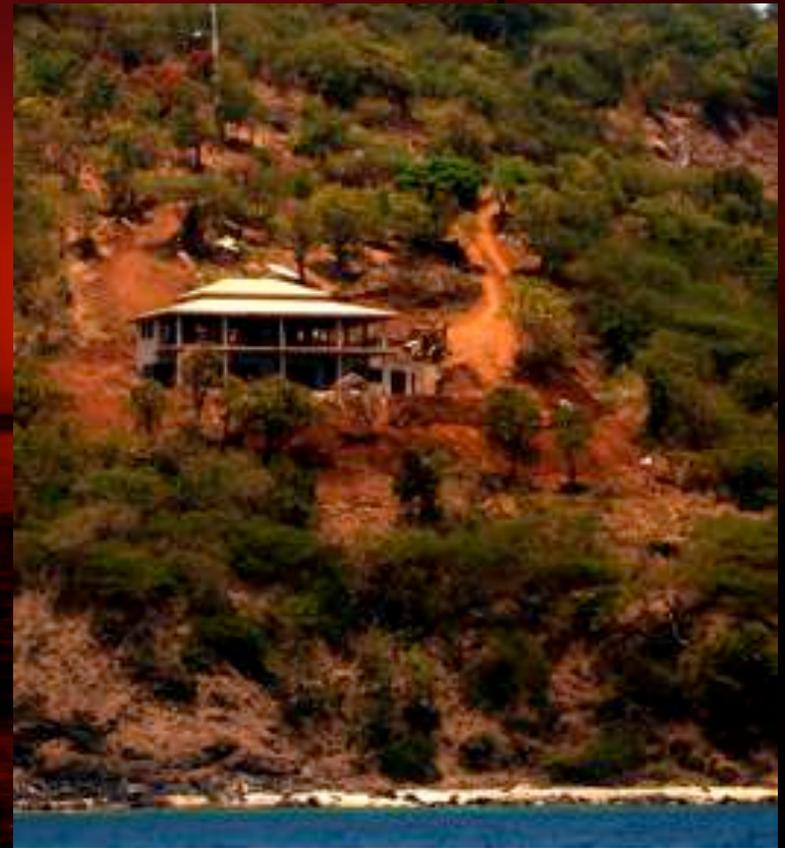
# “Fast tracking”

- “Fast tracking”.
  - Desarrollo de proyectos en terrenos sensitivos.
  - Eliminación de vegetación amortiguadora de los efectos de erosión y de sedimentación.



# Privado vs. Público

- Bienestar privado prevalece sobre el público.
  - Estado favorece en la mayoría de las decisiones al interés privado en perjuicio del interés público.
  - Terrenos sensibles comprometidos para desarrollo.



# Evaluación incompleta de los impactos

- Desarrollos donde no se evalúan adecuadamente los efectos *indirectos* y *acumulativos* de los impactos ambientales.
- Decisiones mal informadas.



# Abuso de los Permisos Simples

- Otorgación masiva de permisos simples para el movimiento incidental de material de la corteza terrestre por las oficinas regionales del DRNA.
- Usado para deforestar.



# Desfase entre dependencias del DRNA

- Desfase entre las oficinas regionales del DRNA y los técnicos en la agencia central que evalúan los posibles impactos de la otorgación de los permisos simples.



# Muchas querellas a nivel de oficinas regionales del DRNA no se procesan

- Incapacidad (o desinterés?) del DRNA de atender las querellas sobre problemas de deforestación.
- Ej. Culebra.



# Muchas querellas en la JCA no se procesan

- Incapacidad (o desinterés?) de la JCA de hacer cumplir el Reglamento CES y la Ley 9.
- Ej. Culebra.



# La ley del medio oeste



Camino ilegal, deforestacion costera y construccion de rampa ilegal de rocas sobre yerbazal.



# Proliferacion de caminos no pavimentados inclinados.



# Formacion de deltas de sedimentacion terrigena sobre salitrales, lagunas y manglares.



# Formacion de deltas de sedimentacion terrigena sobre salitres, lagunas y manglares.



Relleno y construccion ilegal en humedales (ZMT).  
Se elimina capacidad de amortiguar escorrentias.





Pacas de heno al nivel del mar.

Delta de sedimentos sobre una pradera de hierbas marinas producido por la erosión de los terrenos deforestados aledaños.

Pacas de heno dentro de mangle.

Deforestación ilegal de ZMT.

Letrina en ZMT.



***Una playa “privada” para cada cual!!!***

Construcción de caminos de acceso hasta la orilla del mar.



***Esta playa es mia!!!!!!***

Privatizacion de accesos, deforestacion y escorrentias sedimentadas para construccion de casas en ZMT.



# Desarticulacion funcional del gobierno

- Desarticulacion en el manejo de los suelos entre diversas agencias:
  - JP.
  - ARPE.
  - DRNA.
  - JCA.
  - DA.
  - AT.



# Percepcion de ausencia de problema

- La deforestacion, la erosion y sedimentacion no se ven como un problema ambiental con consecuencias negativas para los sistemas naturales.



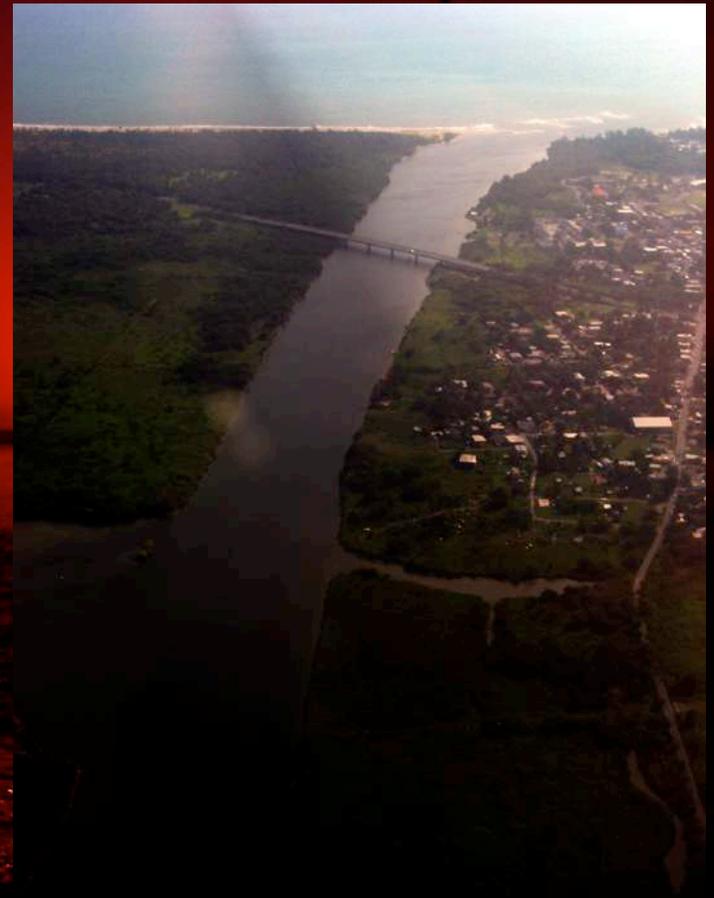
# Prácticas agrícolas inadecuadas

- El desarrollo de prácticas agrícolas no sustentables resulta en aumentos significativos de aportes de escorrentías sedimentadas y contaminadas.



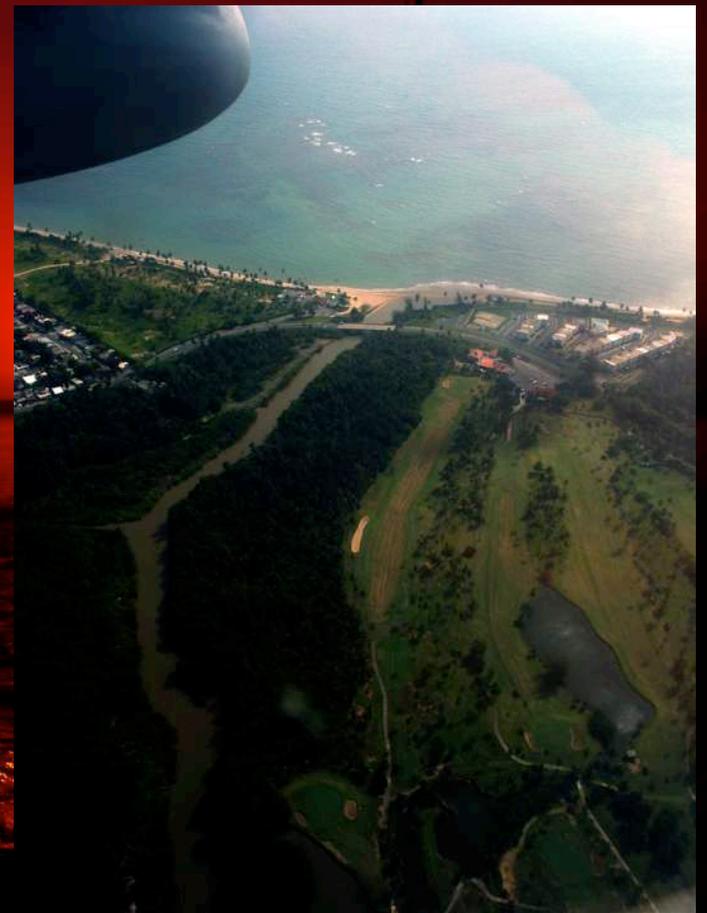
# Canalizaciones de ríos

- La canalización de los ríos acelera la salida de las escorrentias.
- Aun escorrentias minimas alcanzan la costa facilmente.
- Aguas turbias alcanzan distancias mayores.



## Sustitucion de manglares ribereños y humedales por campos de golf

- Eliminacion manglares y humedales.
- Perdida de funciones ecologicas, incluyendo la de amortiguar escorrentias y sedimentos.
- Mitigaciones *ex situ*.



## Politica del Ay Bendito aplica selectivamente a los grandes intereses

- Es mas facil pedir perdon que pedir permiso...
- Eliminacion de un segmento de la Reserva Natural del Estuario del Rio Espiritu Santo para permitir la construccion del Hotel Paradisus.



# Consecuencia en la costa

- Aumento en la frecuencia de pulsos de escorrentías turbias, sedimentadas y cargadas de nutrientes.



# Consecuencia en la costa

- Entrada de contaminantes a la costa a través de las escorrentías pluviales.



# Trafico vehicular sobre la arena

- Erosion costera acelerada debido al trafico vehicular sobre la arena.



# Dragados

- Resuspension sedimentaria severa.
- Destruccion comunidades benticas.
- Asfixia de fauna cercana.



# Resuspension sedimentaria y encallamientos

- Actividades de navegacion en aguas llanas sin control alguno.



# Resuspension sedimentaria y encallamientos

- Resuspension severa de sedimentos durante actividades de atracar embarcaciones de gran calado.



# Generacion de gradientes ambientales

- Patrón de variación gradual en diversos parámetros ambientales (ej. turbidez, nutrientes) a medida que aumenta la distancia o la profundidad desde la costa.



# Gradiente ambiental

- Influenciado por:
  - Patrones de corrientes.
  - Geomorfología de costas.
  - Formaciones arrecifales.
  - Profundidad.
  - Amplitud de mareas.
  - Presencia de estuarios.
  - Patrones de desarrollo.
  - Distancia.
  - Estacionalidad.
  - Vientos.



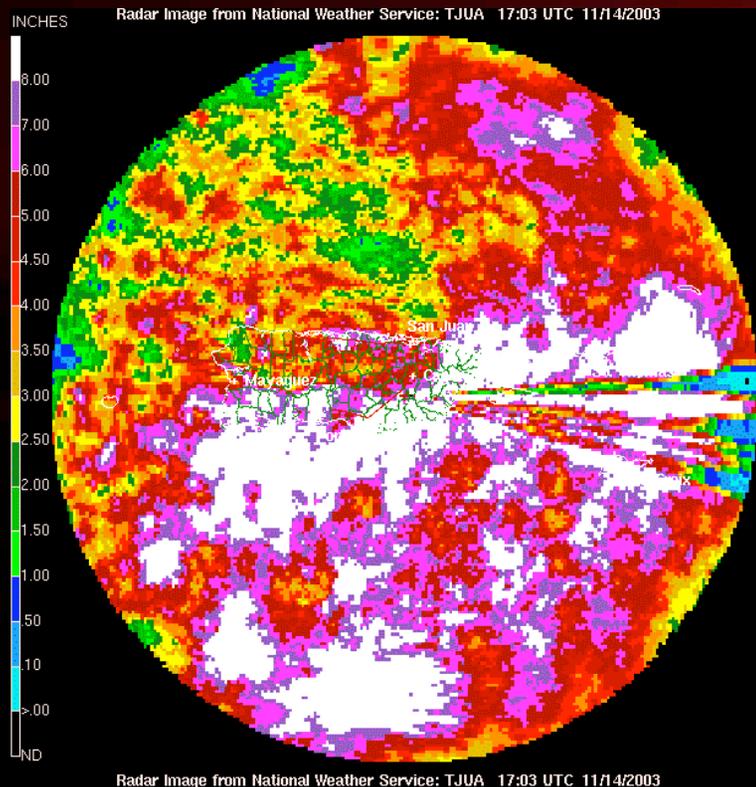
# Gradiente ambiental



- **Eventos crónicos.**
- Deterioro permanente de la calidad del agua en la costa.
- **Eventos repetitivos.**

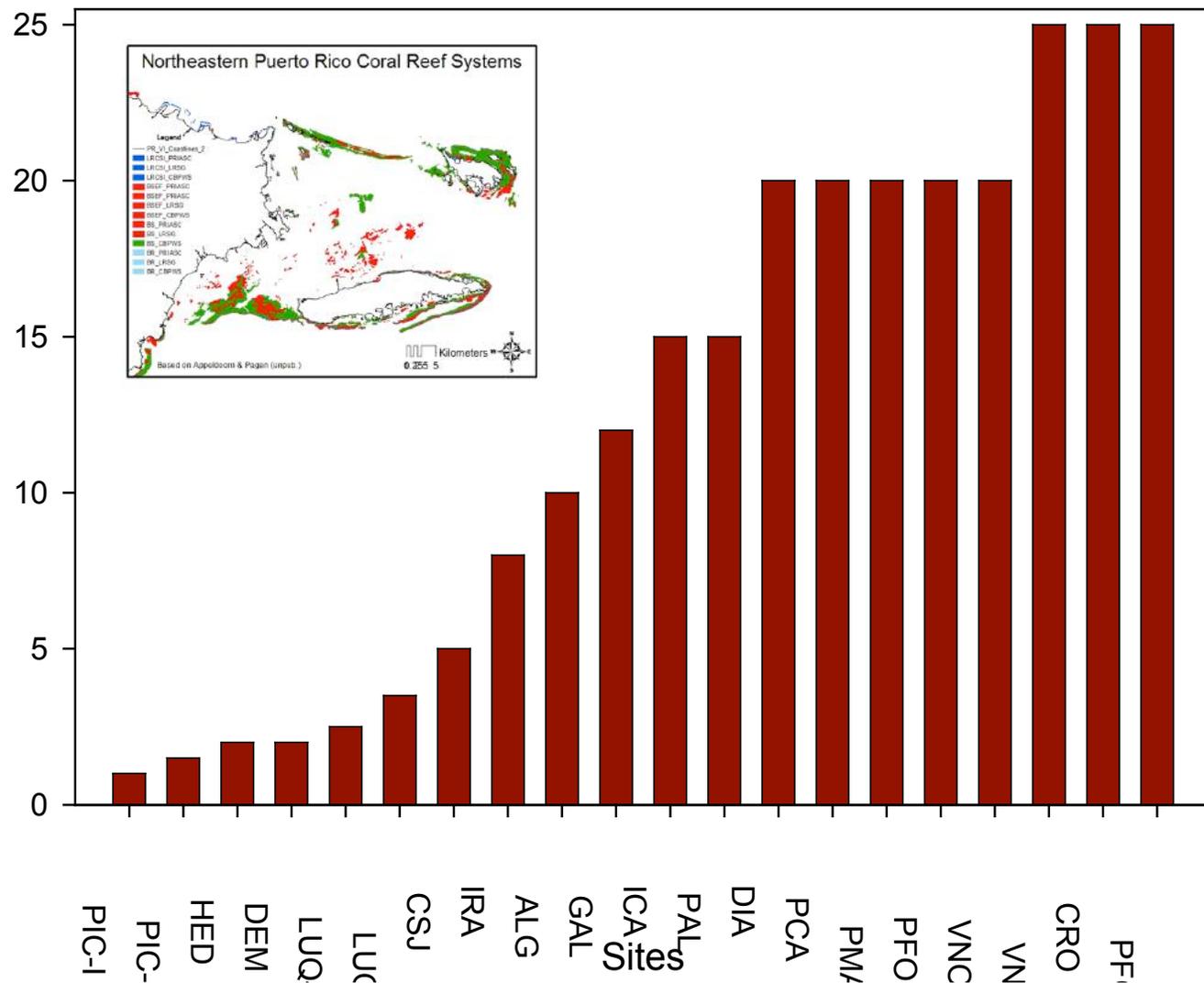


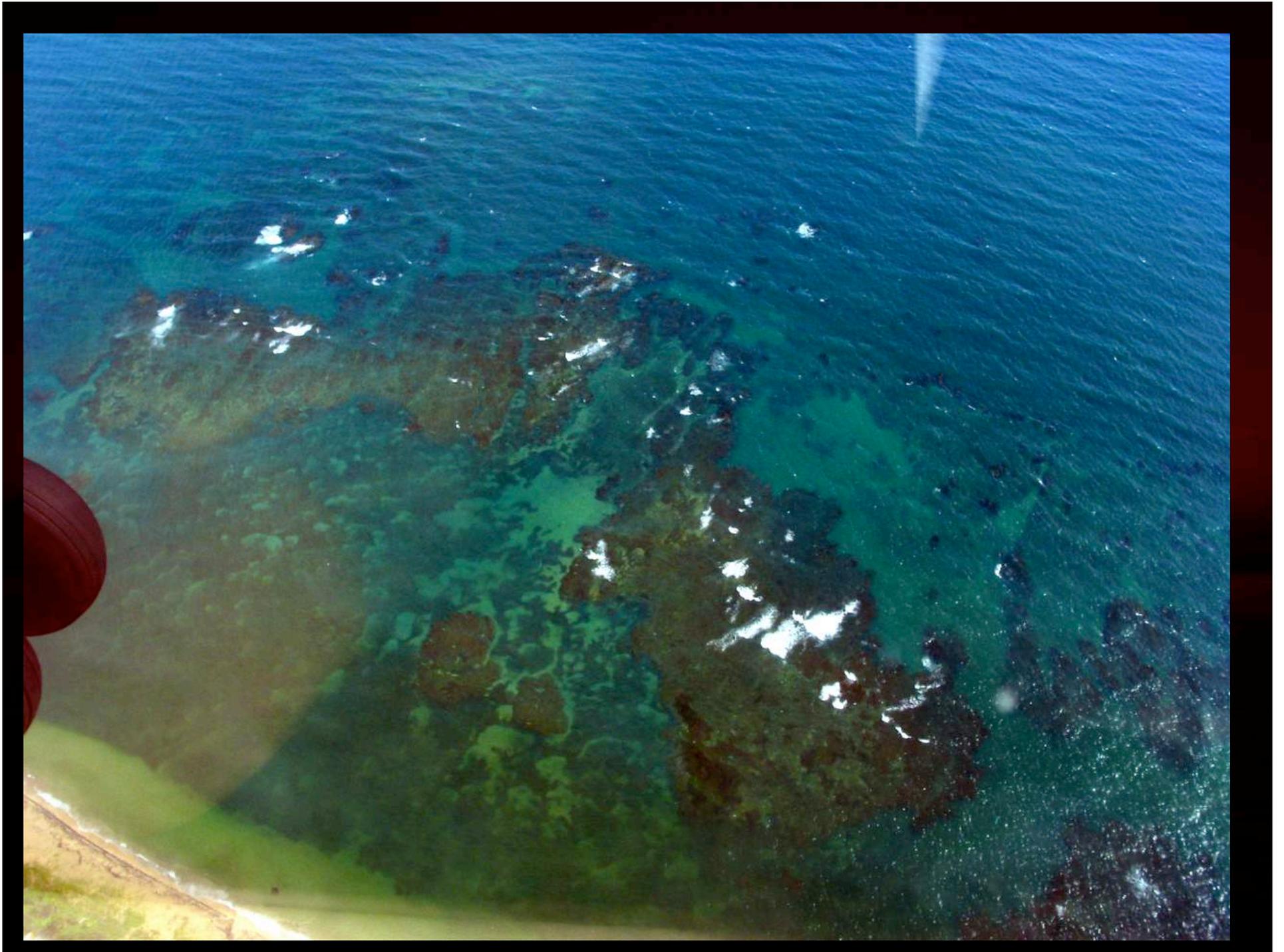
# Gradiente ambiental



- **Eventos agudos o en pulsos.**
  - Asociado a eventos climatológicos extremos.
  - Algunos factores antropogénicos.
  - Nov. 2003 = 43” (110 cm)

# Transparencia del agua









# Cambios de fase

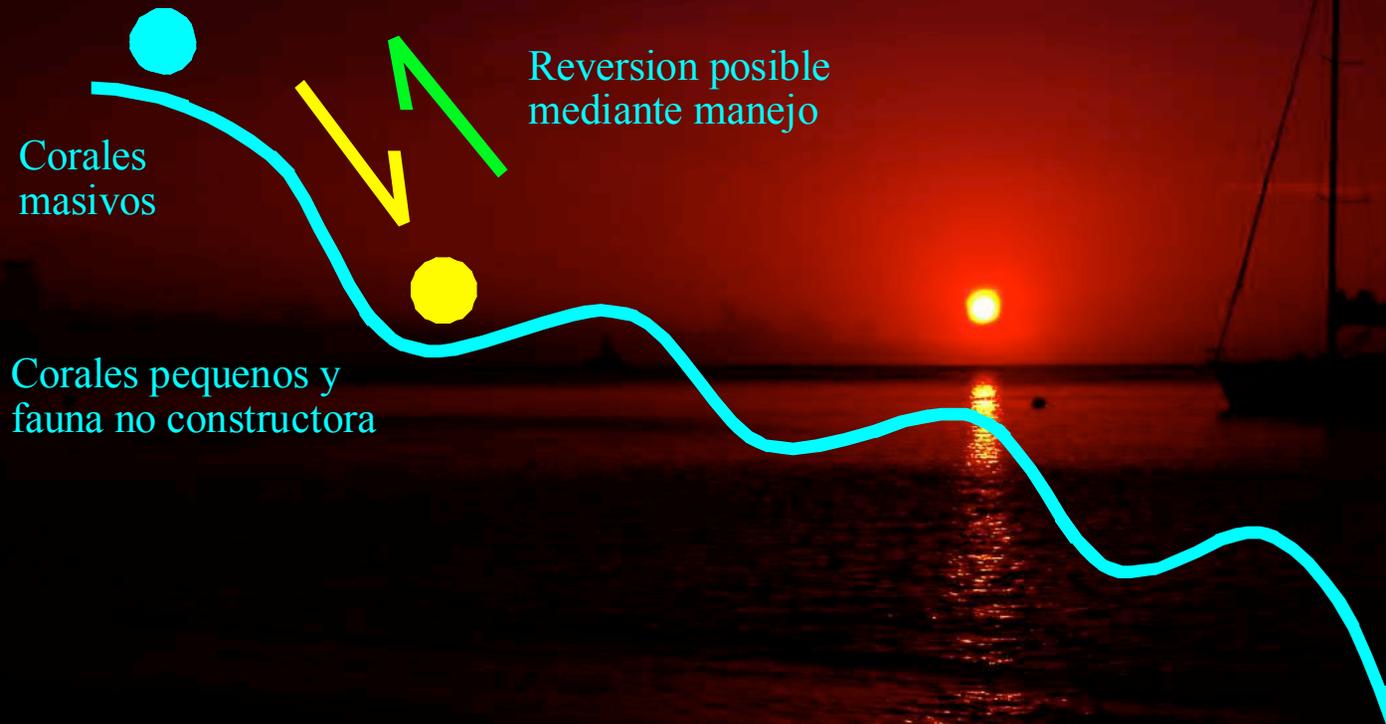
- Cambio en el estado dominante de una comunidad por un estado alternativo.
  - Usualmente irreversible en escalas temporales cortas (ej. años - décadas).
  - Responde a impactos de factores de origen antropogénico.

# Dominancia corales masivos

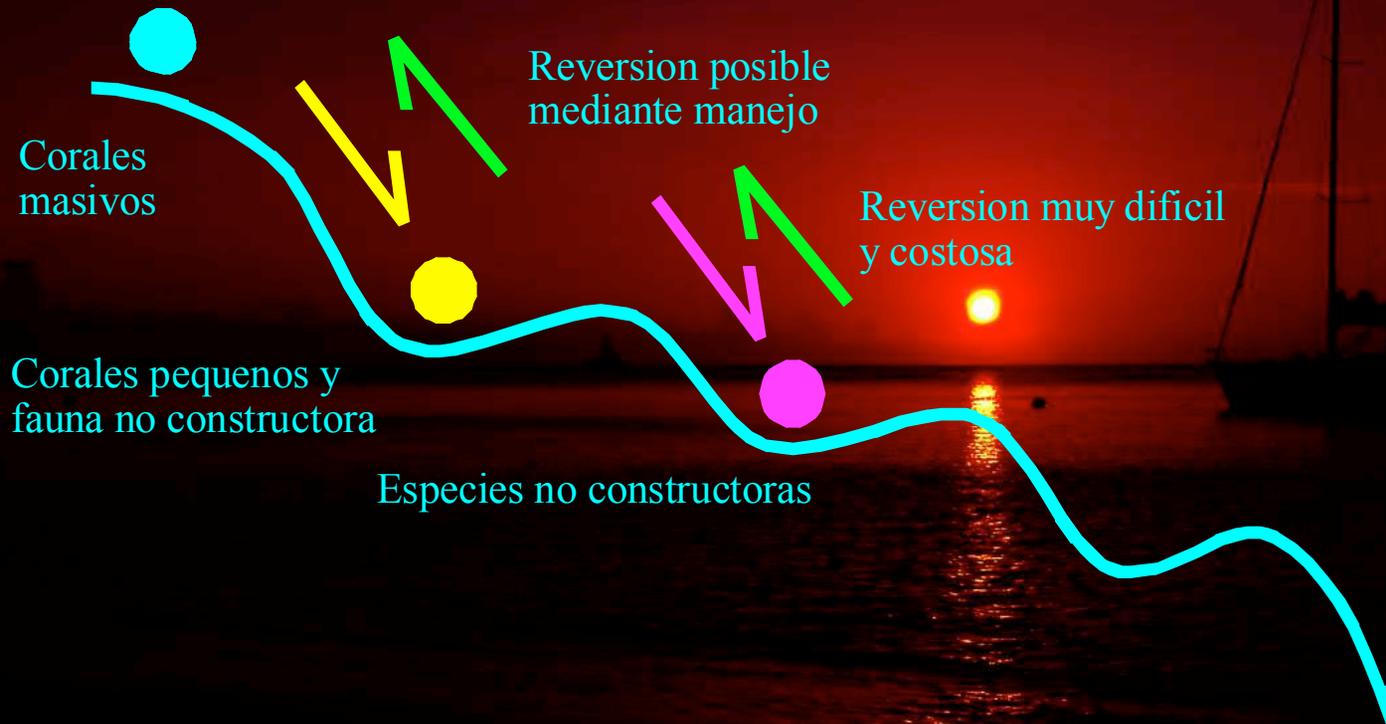
Corales  
masivos



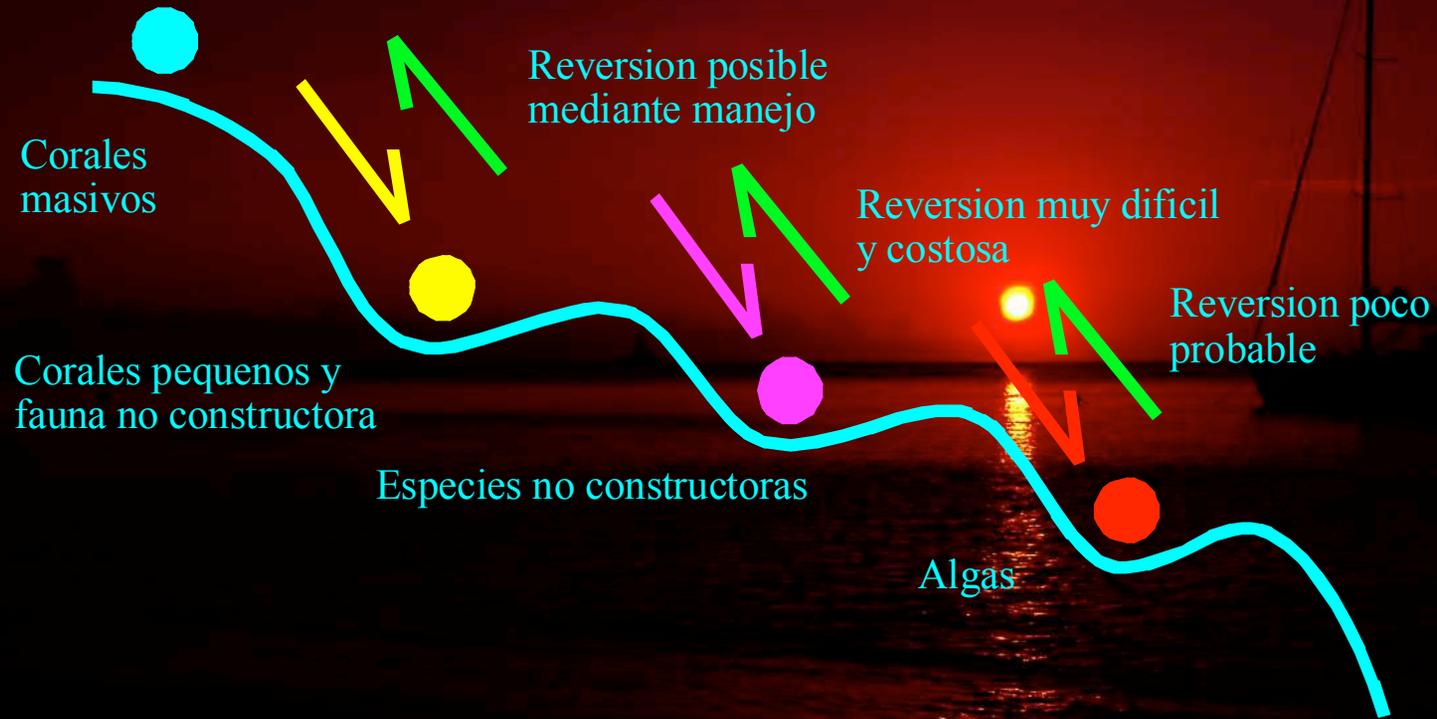
# Dominancia corales efimeros y fauna no constructora



# Dominancia especies no constructoras



# Dominancia de algas



¿Que efectos tiene la sedimentacion en los arrecifes de coral?



# Arrecifes de coral



# ¿Existe un gradiente?

TABLA 1. Diferencias en la transparencia del agua entre localidades (one-way ANOVA).

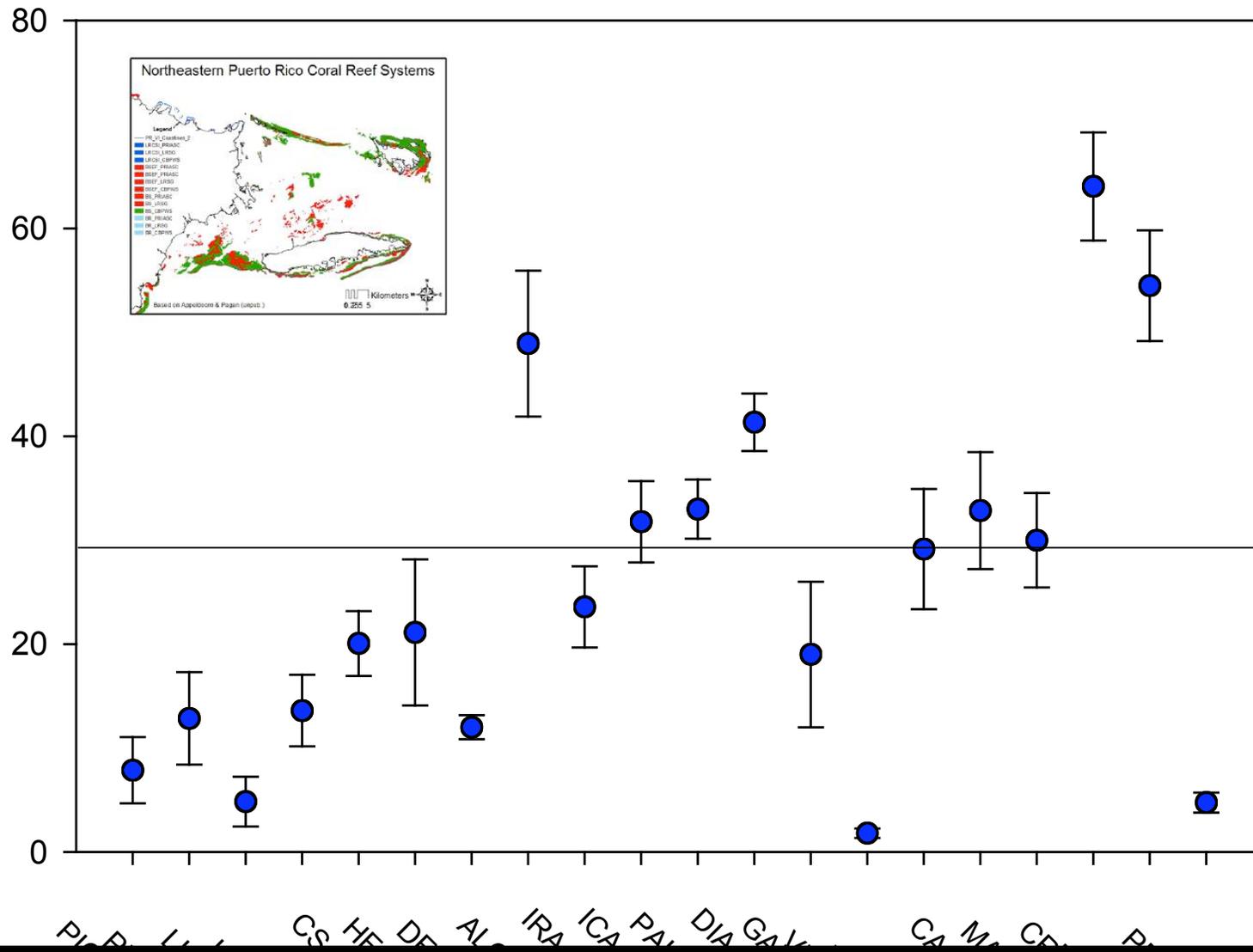
Factor	GL <sup>a</sup>	MS	F	p
Transparencia del agua (m) <sup>b</sup>	19,112	1.49	537	<0.0001

<sup>a</sup> GL= grados de libertad (between, within).

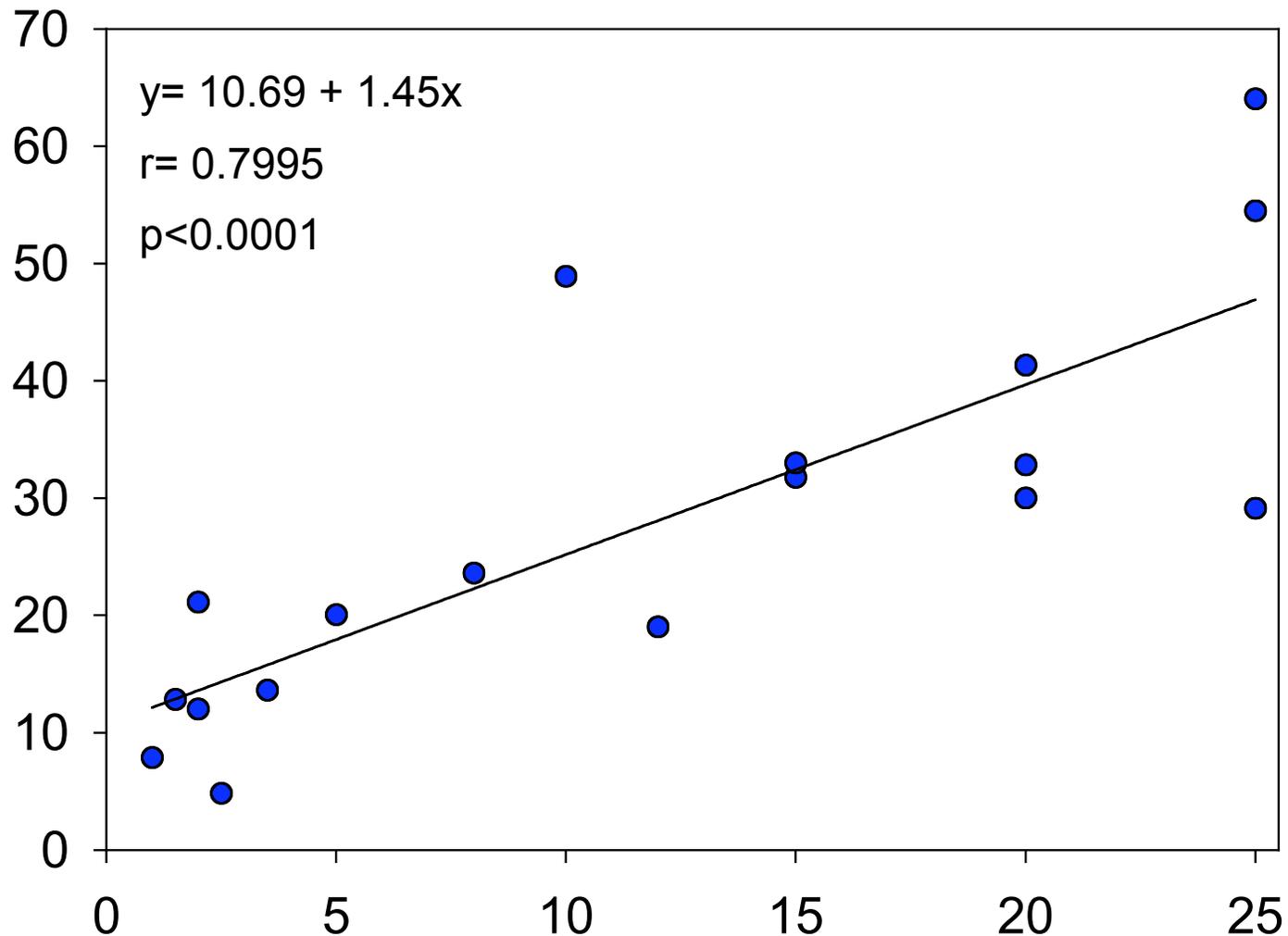
<sup>b</sup> Datos transformados al  $\log_x$ .

Menor transparencia del agua cerca de la costa

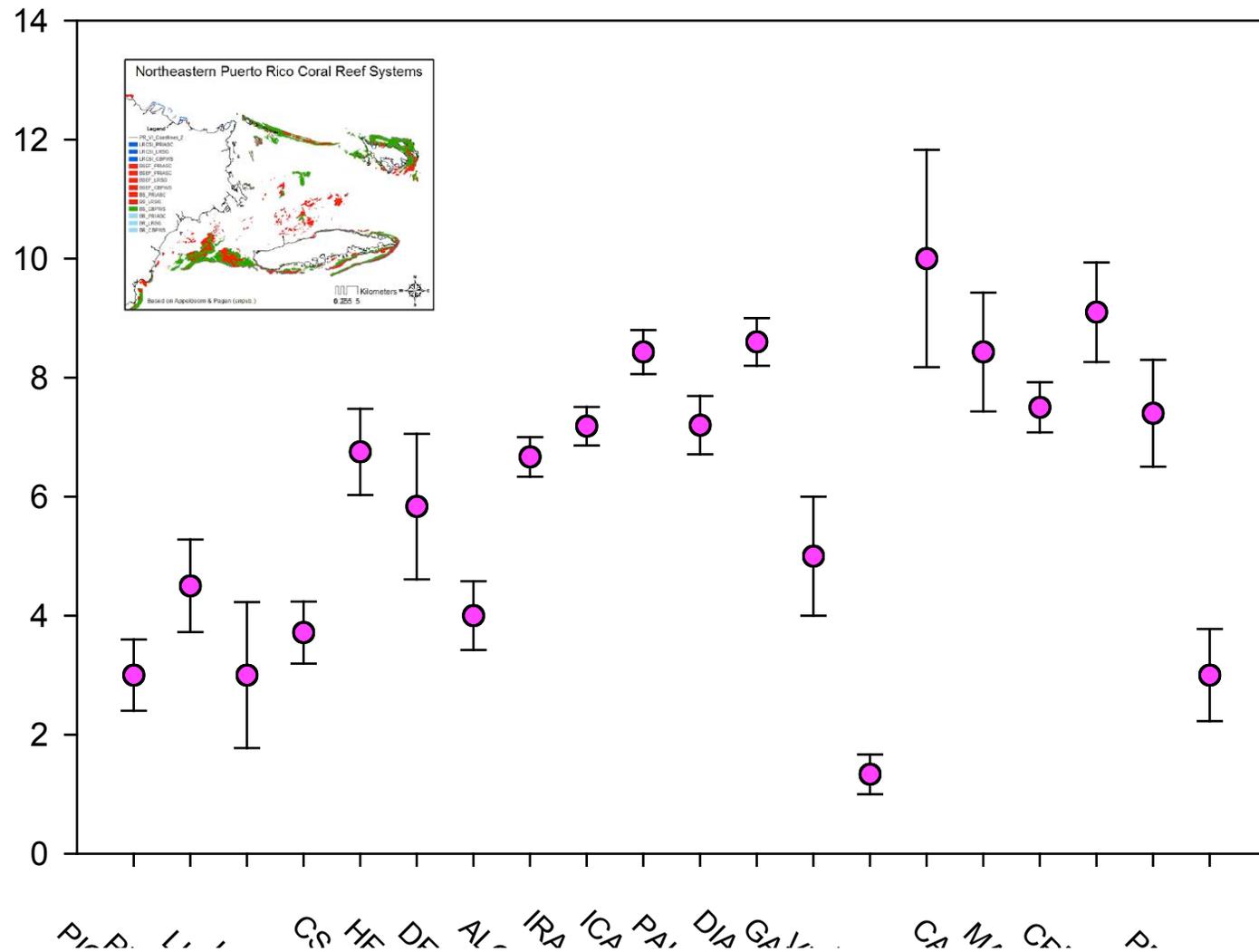
# Cobertura de corales



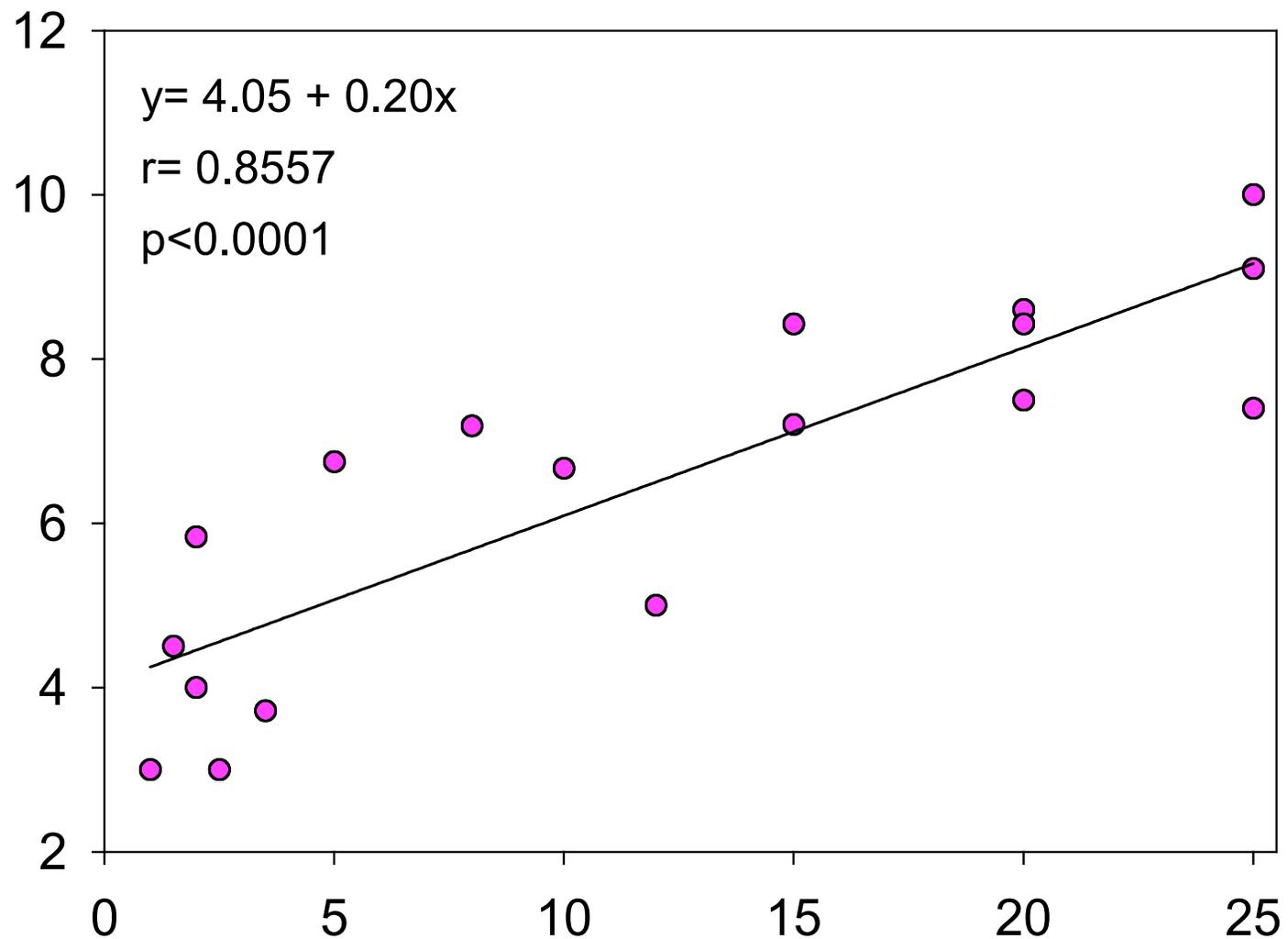
# Efectos de transparencia del agua



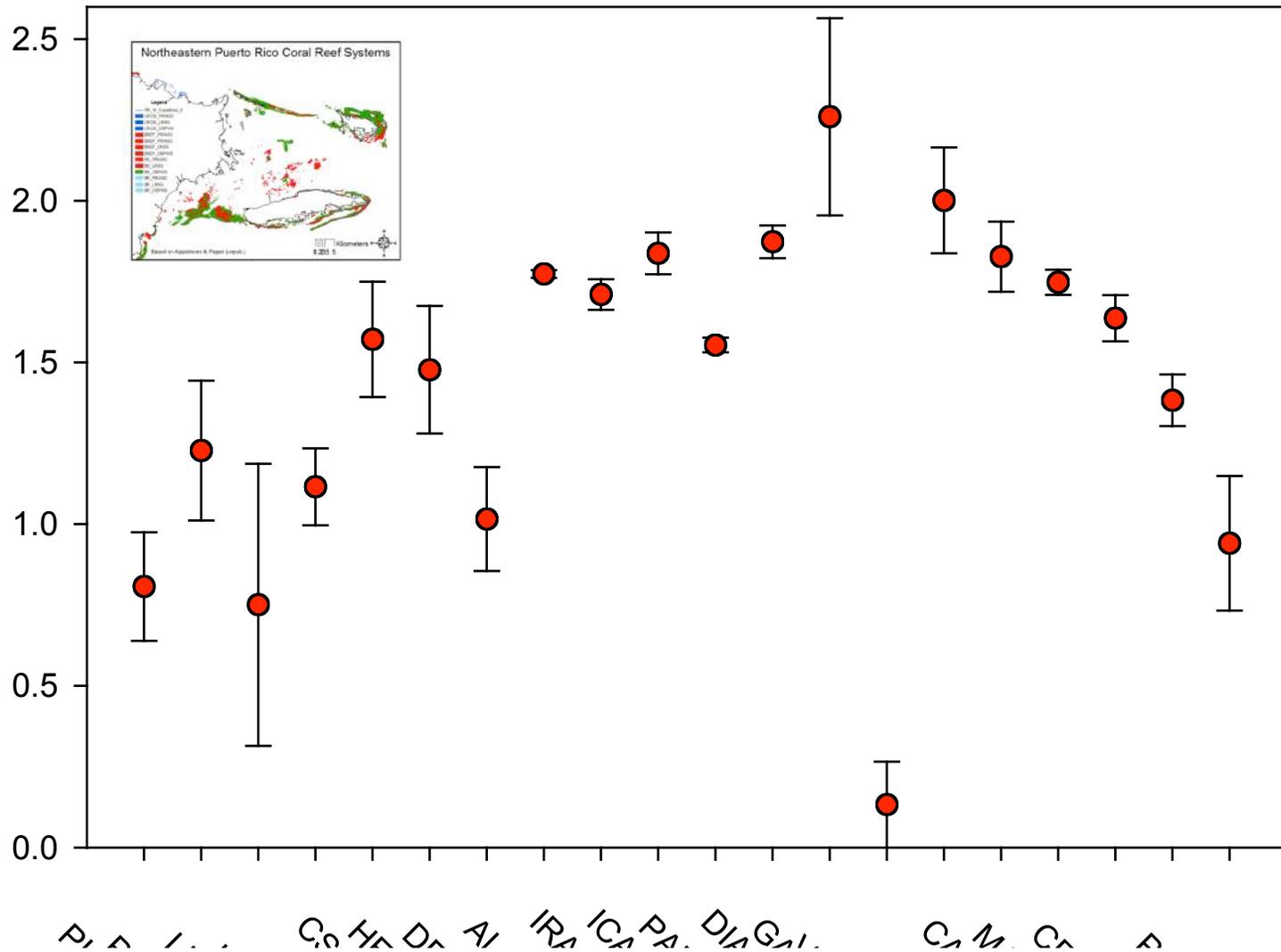
# Riqueza de especies de corales



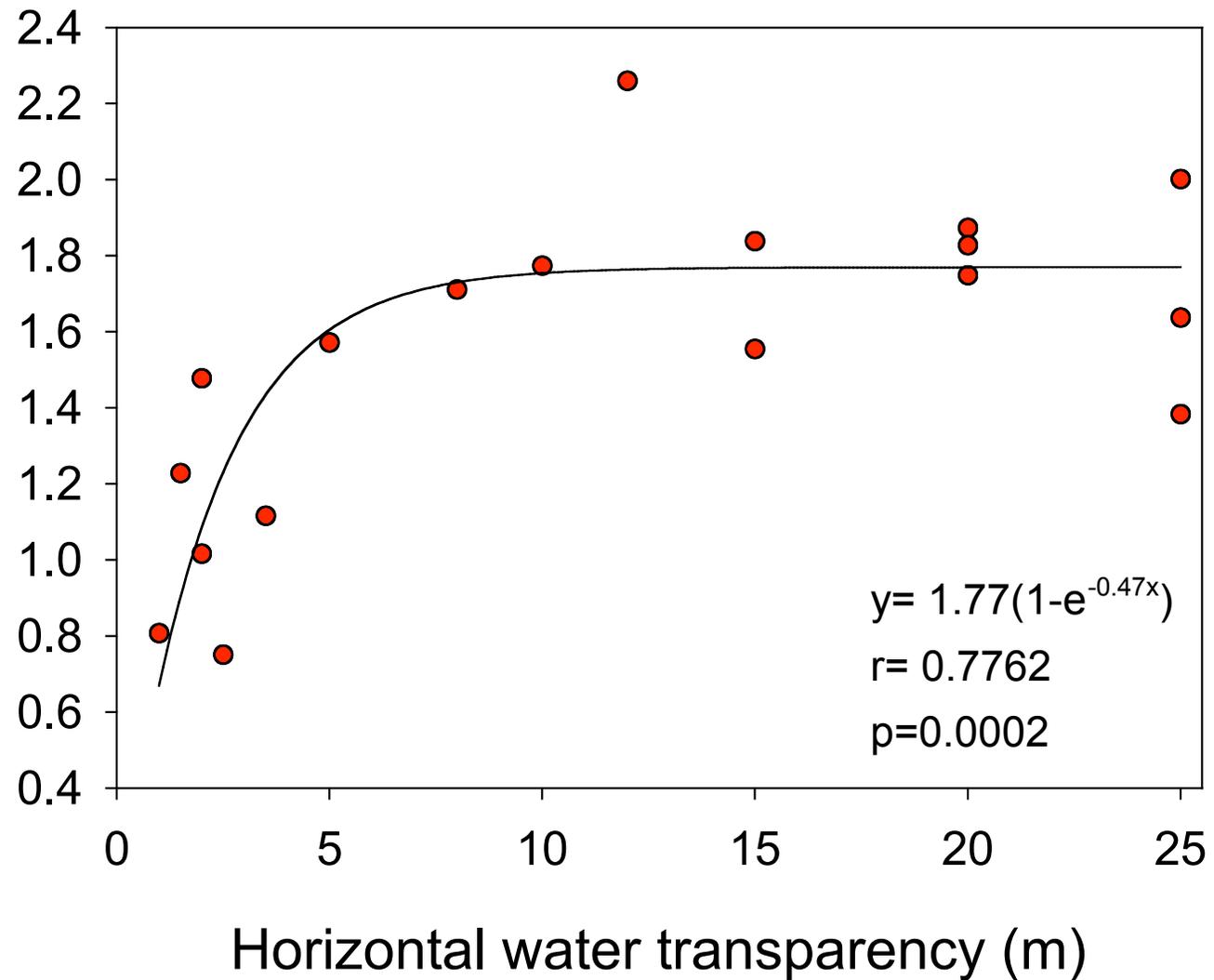
# Efectos de transparencia del agua



# Indice Diversidad Especies (H'n)

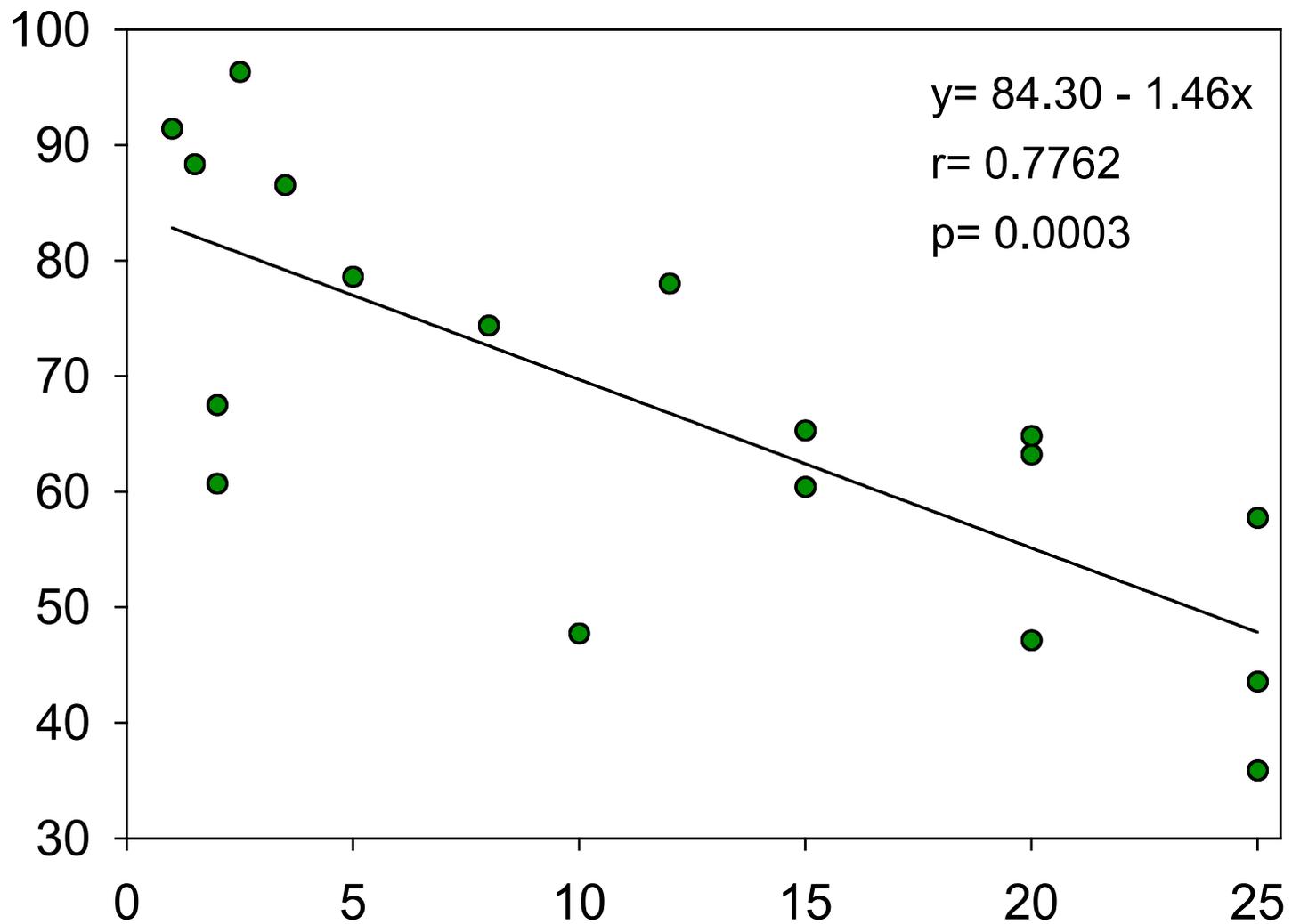


# Efectos de transparencia del agua

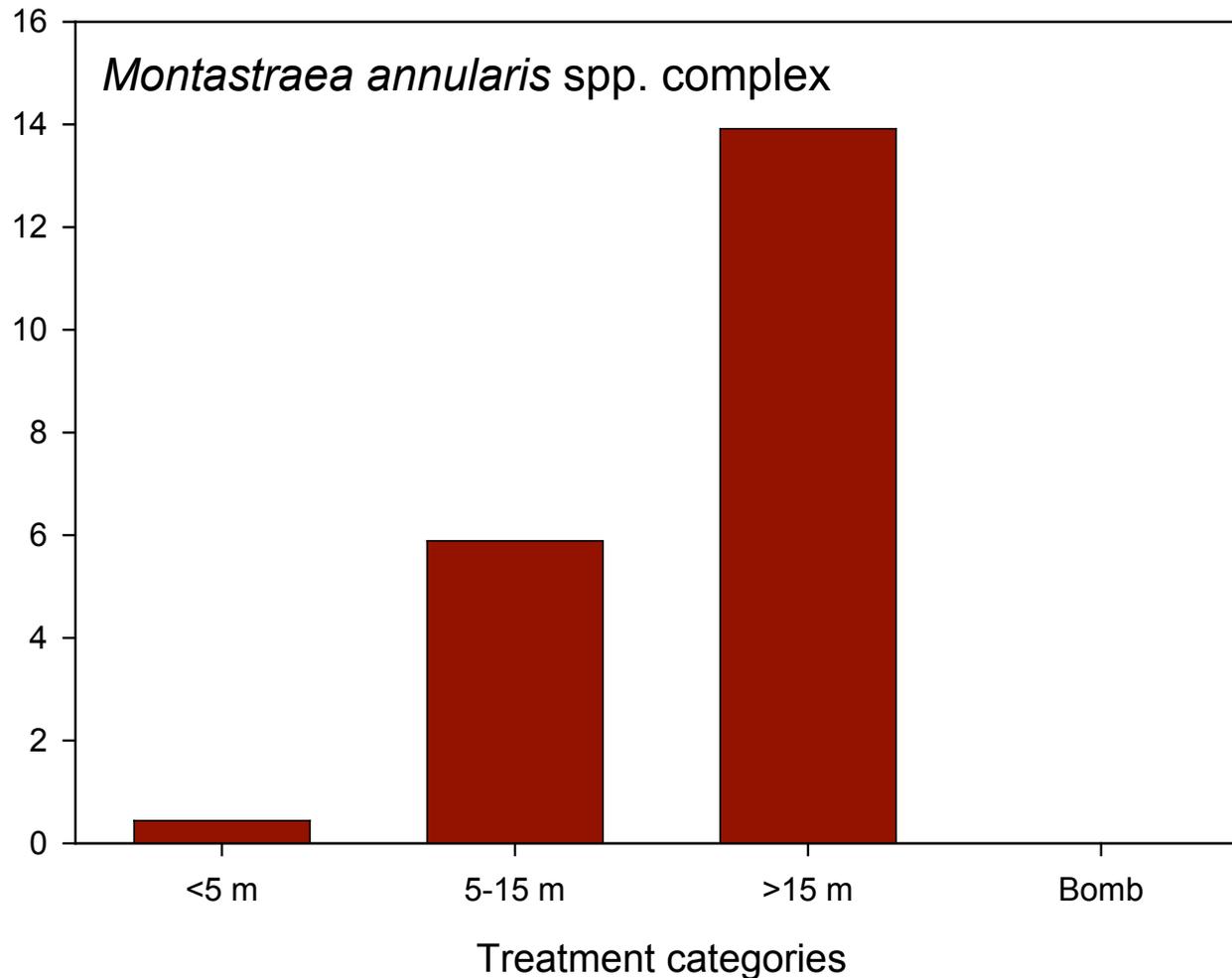




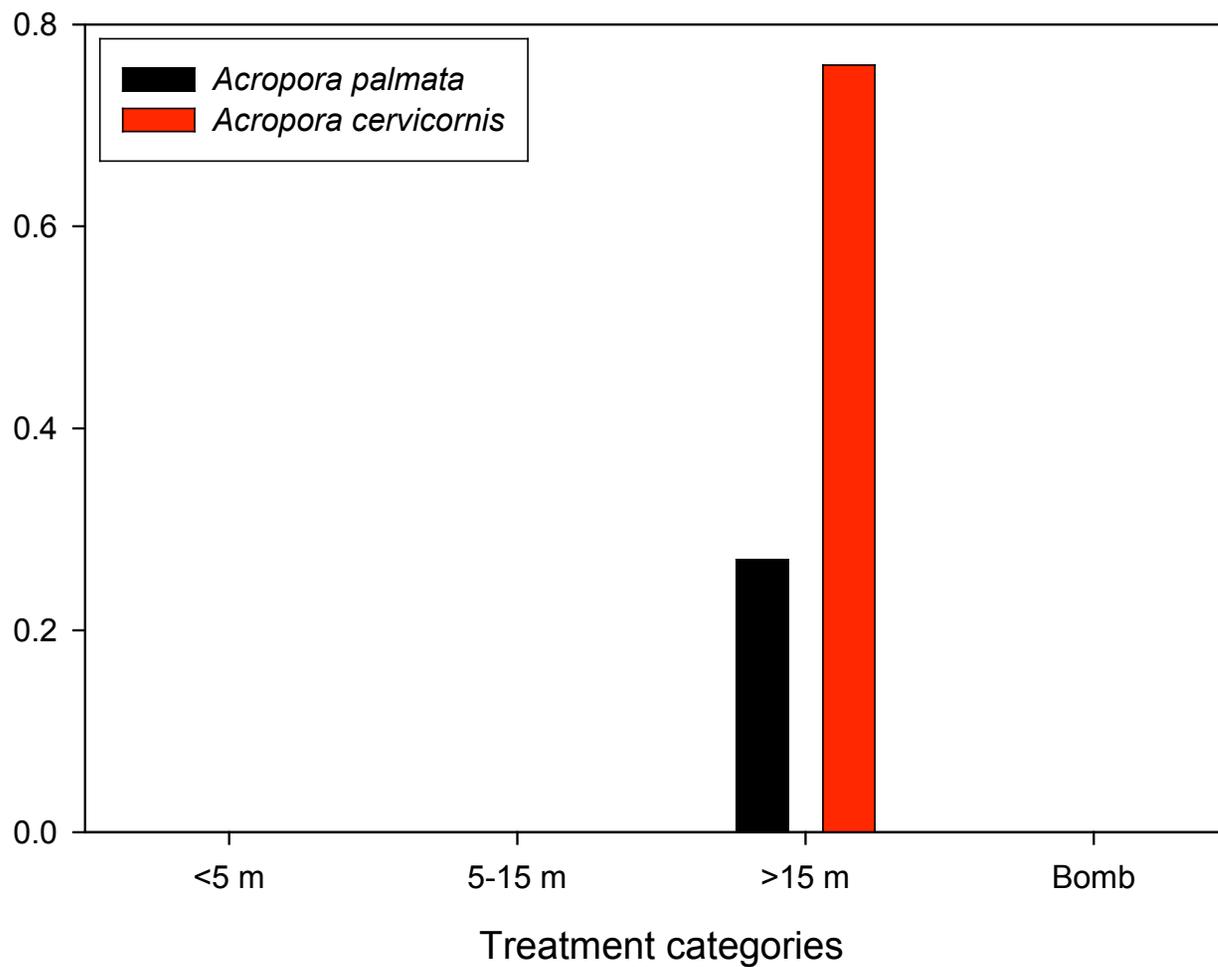
# Efectos de transparencia agua



# Patrones espaciales (dominancia x tratamiento)



# Patrones espaciales (dominancia x tratamiento)



# Efectos de la sedimentación en corales

- Disminución en la abundancia de los corales.
- Alteración de las formas de crecimiento de corales .
- Disminución de la diversidad de especies.
- Alteración en la estructura de la comunidad.
- Cambio a dominancia por taxones no constructores de arrecifes (ej. corales blandos, esponjas, zoantidos o algas).



# Efectos de la sedimentación en corales

- Disminución en la tasa de crecimiento de las colonias.
- Asfixia de colonias.
- Aumento en la frecuencia de lesiones de tejido asociada a la muerte parcial.
- Disminución de la tasa fotosintética.
- Incremento en la tasa de respiración.



# Efectos de la sedimentación en corales

- Incremento en gasto energético (gasto de carbono) en mantenimiento (producción de mucosa).
- Reducción de energía y tiempo invertidos en crecimiento de la colonia, alimentación y reproducción.
- Inhabilidad de asentamiento de planulas en fondos sedimentados.
- Disminución en la tasa de sobrevivencia de colonias juveniles.



# Efectos de la sedimentación en corales

- Incremento en tasas de bioerosion.
- Aumentos cronicos en turbidez causan reduccion en la penetracion de luz solar hasta el fondo, alterando las tasas fotosinteticas de corales, hierbas, etc.
- Perdida de capacidad neta de crecimiento del arrecife.
- Perdida de funciones de los corales a nivel de ecosistema.



# Efectos de la sedimentación en corales

- Incremento en susceptibilidad ante otros factores (ej. enfermedades y síndromes, huracanes, calentamiento global).
- Reducción en la resistencia del arrecife (capacidad de enfrentar perturbaciones).
- Reducción en la resiliencia (habilidad de recuperarse de perturbaciones).

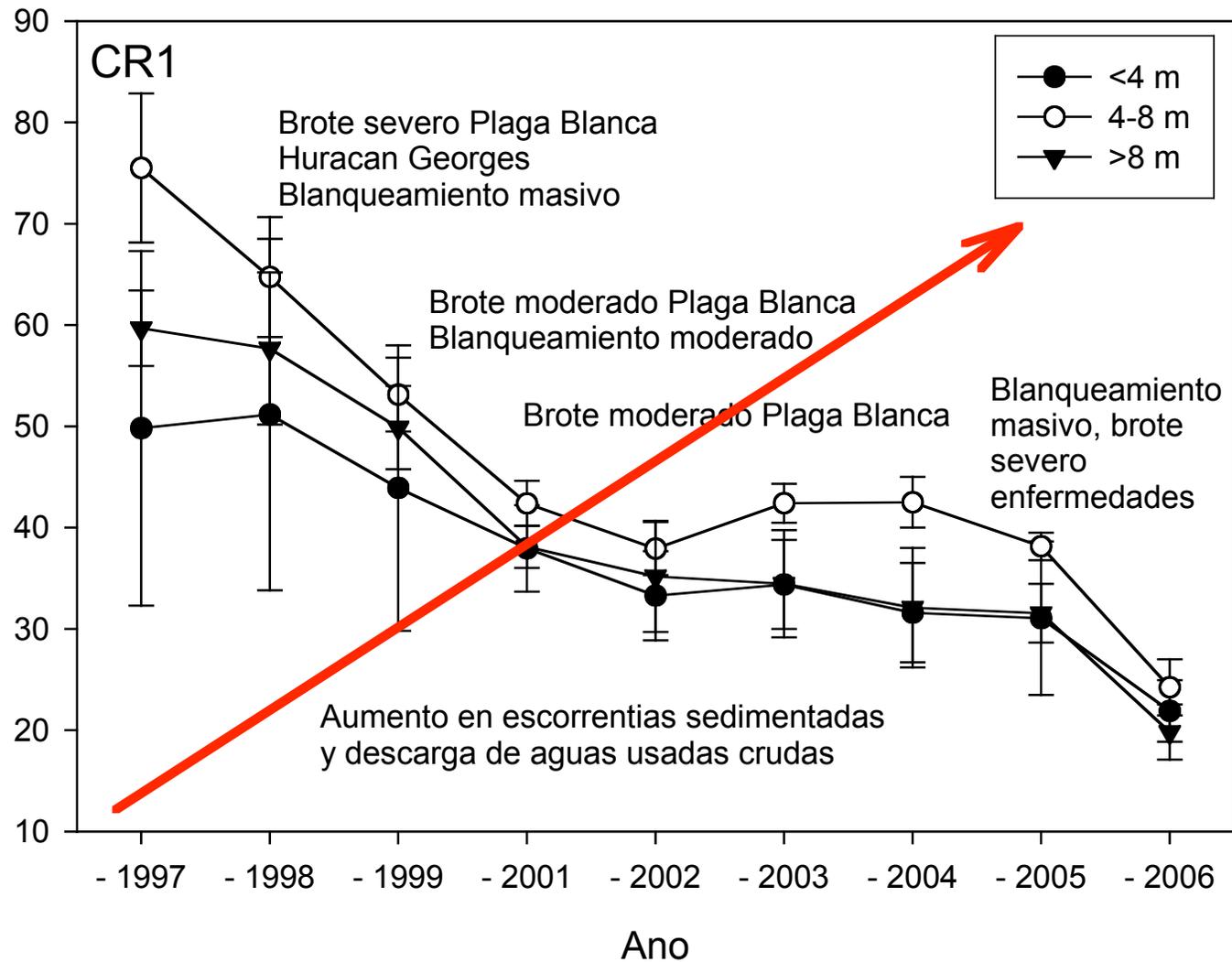


# Efectos de la sedimentación en corales

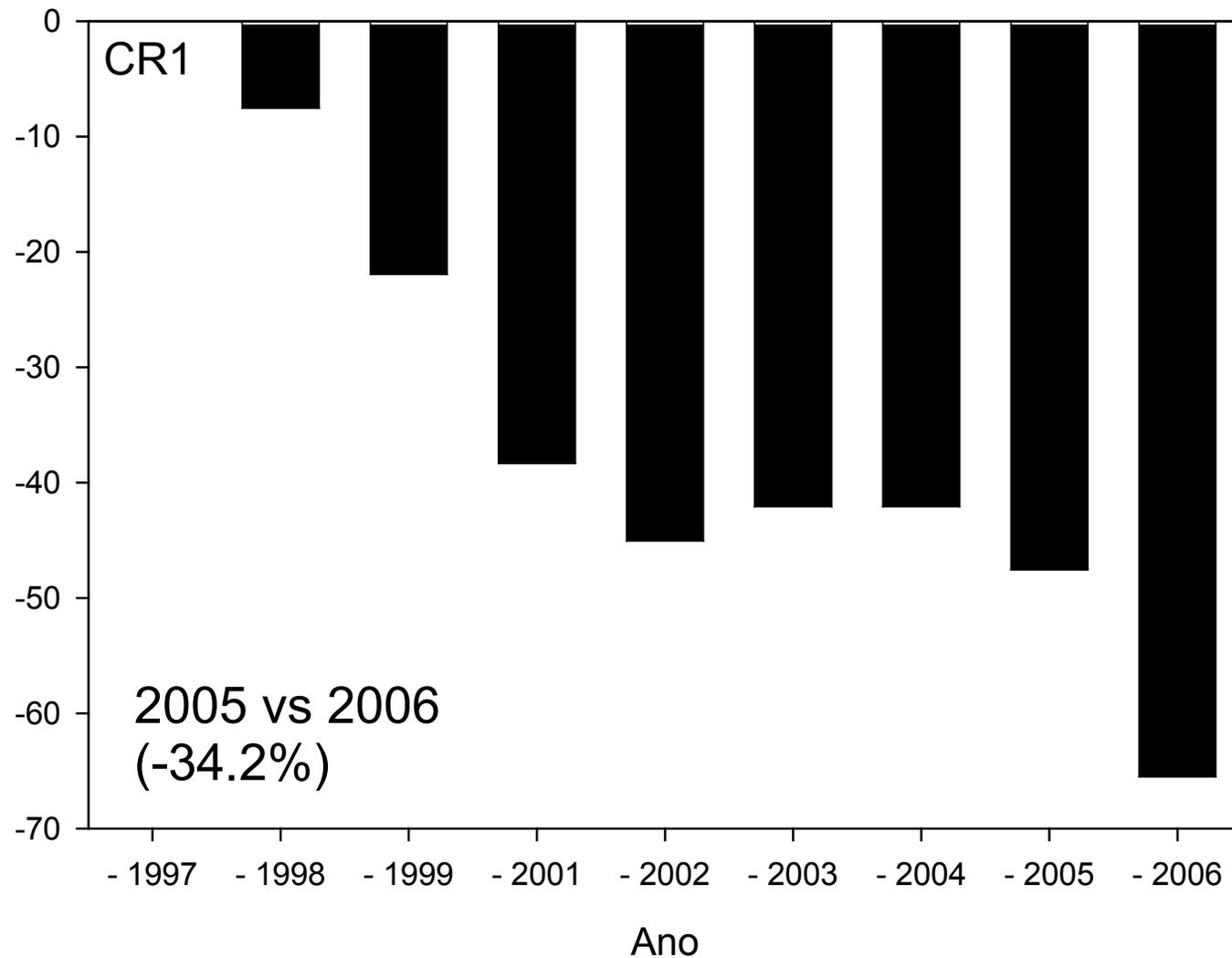
- Eliminación de redundancia funcional (roles de algunas especies de corales).
- Pérdida de especies ingenieras.
- Degradación del hábitaculo esencial de peces.
- Pérdida general de biodiversidad como consecuencia del deterioro del hábitaculo.
- Devaluación económica.



# % Coral



# Magnitud de cambio en % coral



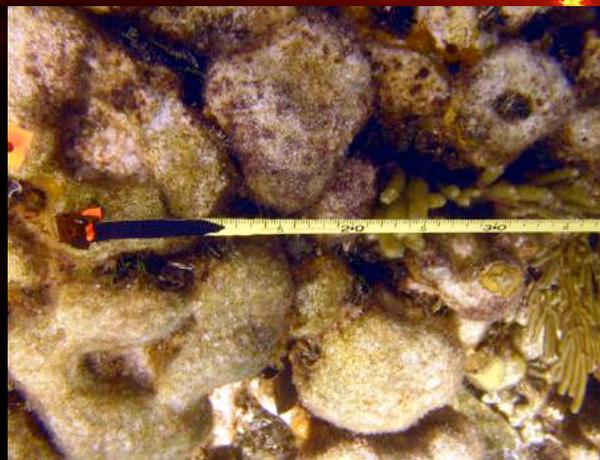
# *Montastraea annularis*



junio 27, 2005



septiembre 25, 2005



julio 26, 2006

# Efectos de la sedimentación en peces

- *Efectos letales a corto plazo:*
  - Muerte por enterramiento de especies cripticas (ocultos en grietas, cuevas y hendiduras).
  - Trauma respiratorio (erosion de los filamentos branquiales).
  
- *Efectos sub-letales a corto plazo:*
  - Estres respiratorio y en la separacion de escuelas monoespecificas.

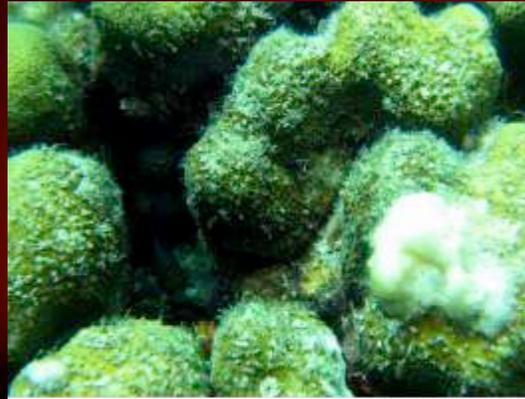


# Efectos de la sedimentación en peces

- *Efectos letales a largo plazo:*
  - Incrementos en depredación de algunos grupos de peces.
  - Hambruna (consecuencia de la pérdida de recursos alimentarios).
- *Efectos sub-letales a largo plazo:*
  - Reducción en las tasas de crecimiento.
  - Cambio hacia residencia en habitáculos sub-óptimos.



# Factores “naturales”



# Diversos factores humanos



- Degradación de la calidad del agua asociada a pulsos de escorrentías.



# Ausencia controles de erosión



# Mortalidad post-escorrentías



Necrosis de tejido

“Patchy necrosis”

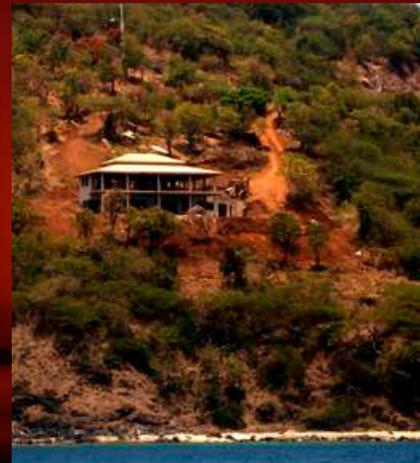


# Explosión poblacional de algas



# Otras consecuencias en corales

- Alteracion salinidad.
- Reduccion en transparencia.
- Reduccion en temperatura.
- Invasion patogenos.
- Alteracion microflora.



# Otras consecuencias en corales

- Estres fisiologico.
- Hambruna.
- Hipoxia.
- Blanqueamiento.
- Muerte.



Mortandad Masiva  
Incapacidad de Recuperacion

+ *Diadema*

- *Diadema*

- Reduccion biomasa macroalgas
- Dominancia corales/algas filamentosas
- Alta sobrevivencia reclutas corales
- Competencia por explotacion de algas  
*Diadema* y peces herbivoros

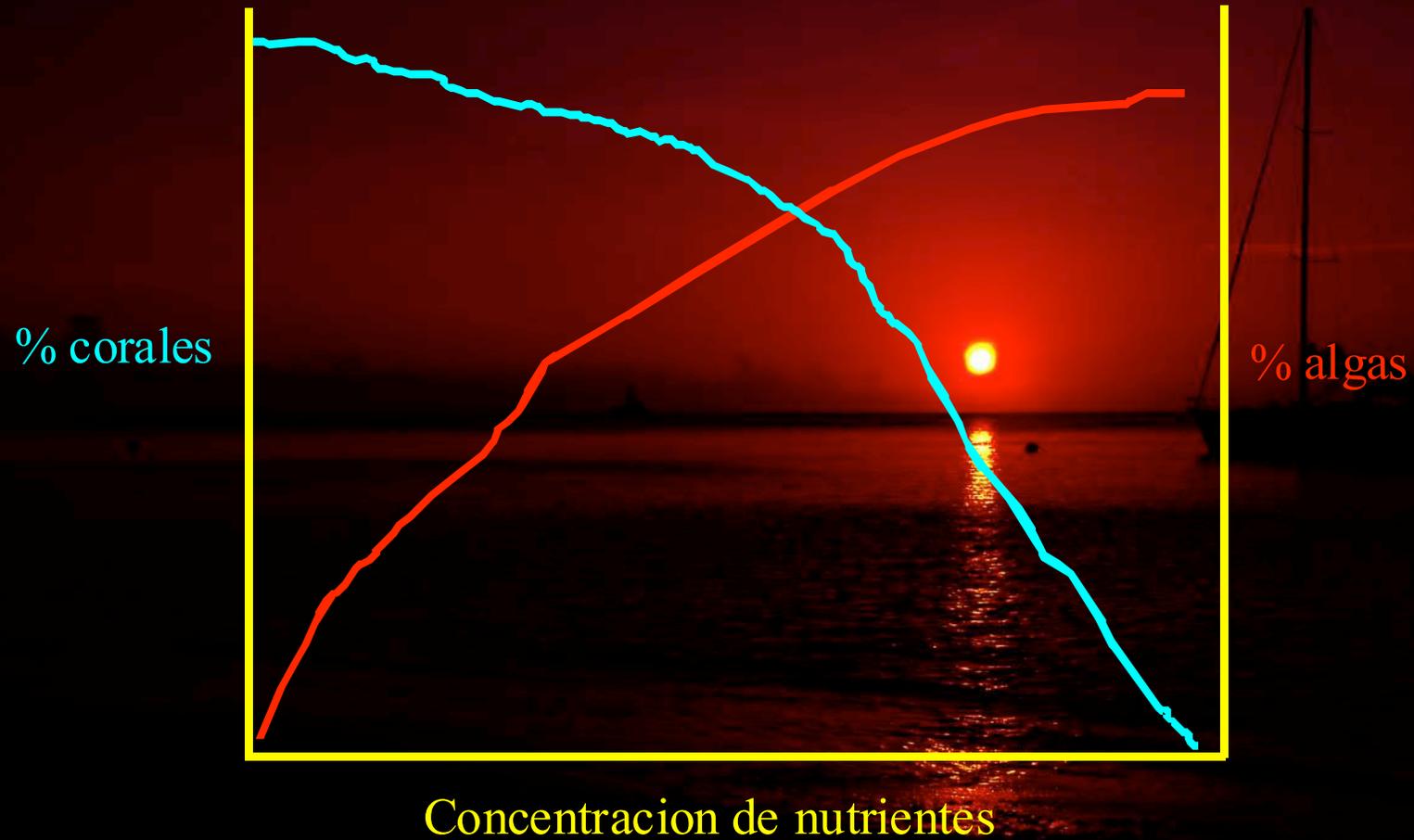
- Aumenta biomasa macroalgas
- Dominancia macroalgas
- Baja sobrevivencia reclutas corales
- Desplazamiento corales por abrasion,  
sombra y sobrecrecimiento
- Posible aumento en poblaciones de  
herbivoros

Comunidad de  
corales y algas  
filamentosas

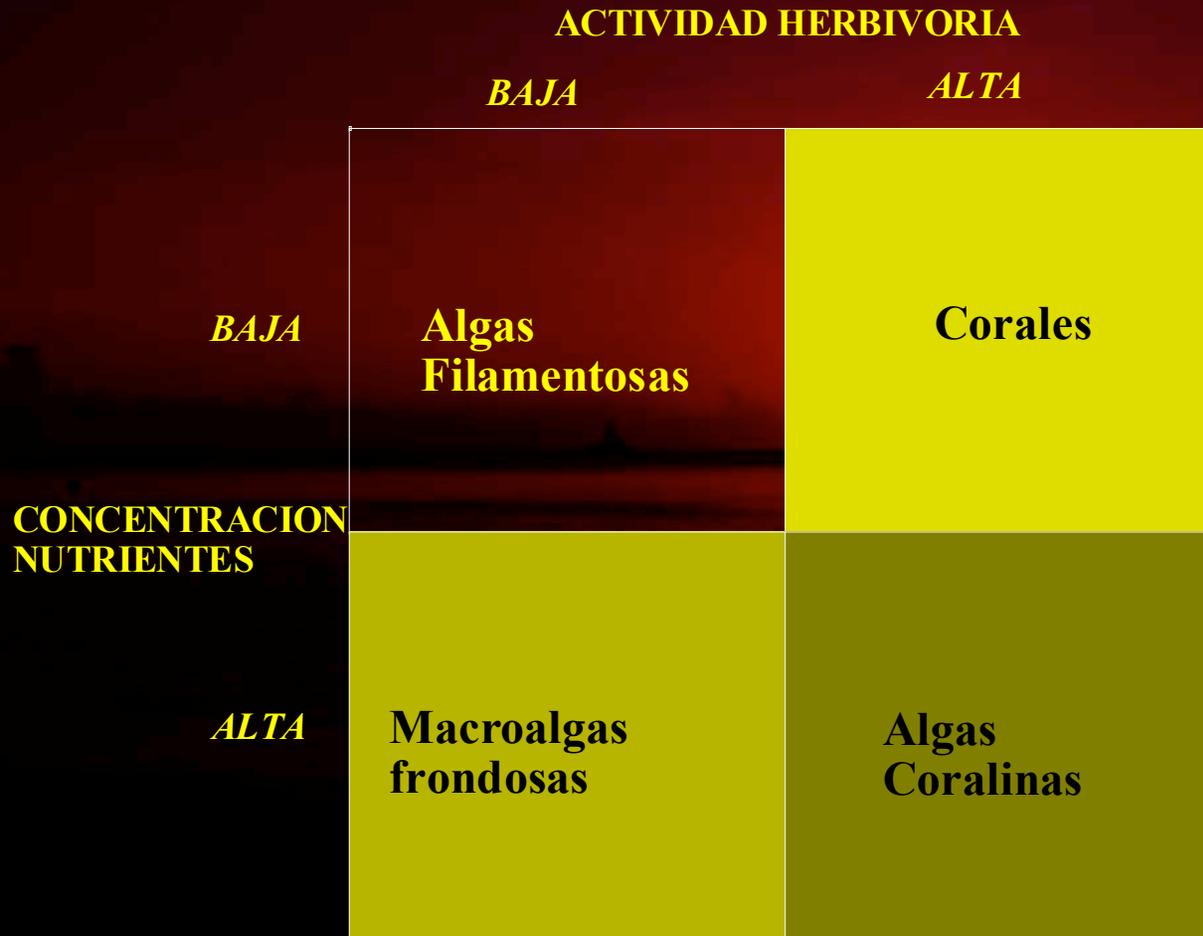
Comunidad de  
macroalgas

Perturbacion???

> Nutrientes, > % algas, < % corales.



# Interacciones entre mecanismos “top-down” y “down-top”





# Conclusiones

- Pérdida neta de arrecifes de coral.
- Cambio de fase en la estructura de las comunidades.
- Escorrentías son la causa principal.



# Conclusiones

- Escorrentías aumentan prevalencia síndromes y/o enfermedades en los corales.
- Efectos negativos en comunidades de peces.



## Mortandades asociadas a la sedimentación pueden tener efectos a escala paisajista

- Pérdida de conectividad a nivel de microhabitat (escalas espaciales pequeñas).
- Pérdida de habitáculos de gobis limpiadores (pérdida de estaciones de limpieza de parásitos).

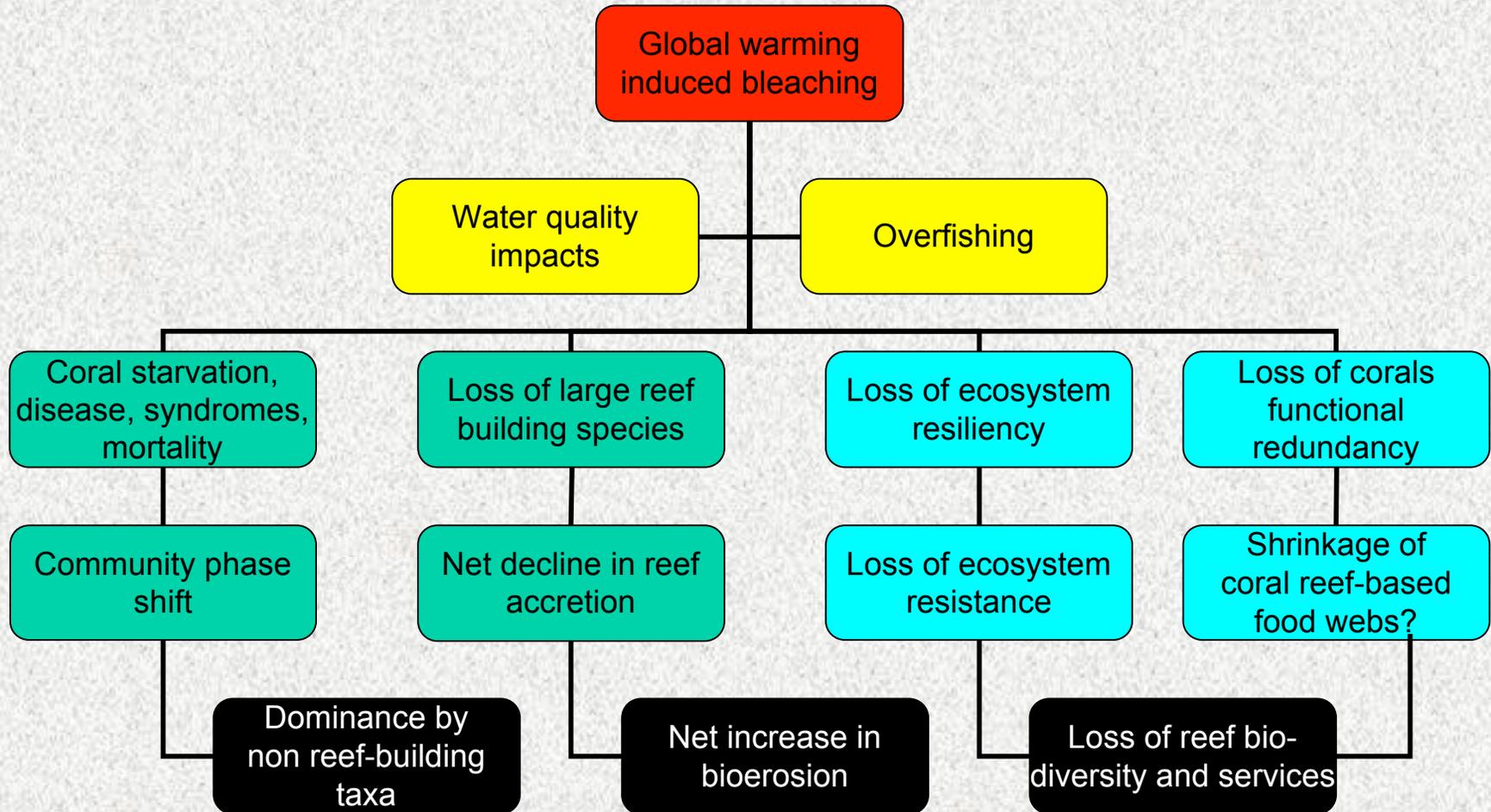


## Mortandades asociadas a la sedimentación pueden tener efectos a escala paisajista

- Aumento en la predación por coralívoros en colonias remanentes.
- Reducción en potencial reproductivo en corales.
- Efecto Allee para algunas especies.



# Consecuencias a largo plazo?



# ¿Entonces que podemos hacer?



- **Restauración!!!**

- ¿Pero, es viable restaurar yerbazales y arrecifes degradados?

# Costos de restauración

- \$153 millones para recuperar 20% cobertura de corales (Ruitenbeek, 1999).

# Alternativas de baja tecnología (=bajo presupuesto)

- **Amarras plásticas.**
- Permiten fijación de colonias ramificadas al sustrato natural.



# Alternativas de baja tecnología (=bajo presupuesto)

- **Concreto hidráulico.**
- Permiten fijación de colonias ramificadas y masivas al sustrato natural.



# Alternativas de baja tecnología (=bajo presupuesto)

- **Cultivo de corales.**
- Restaurar las funciones ecológicas del coral al nivel de ecosistema.
- Rehabilitar los hábitats esenciales para la crianza de peces juveniles en aguas llanas.







# Rehabilitación de habitat esencial de peces



Modelo de manejo criollo

Clavos, sorbetos, “plastic ties”





10 meses luego



31 meses luego

# Recomendaciones al DRNA

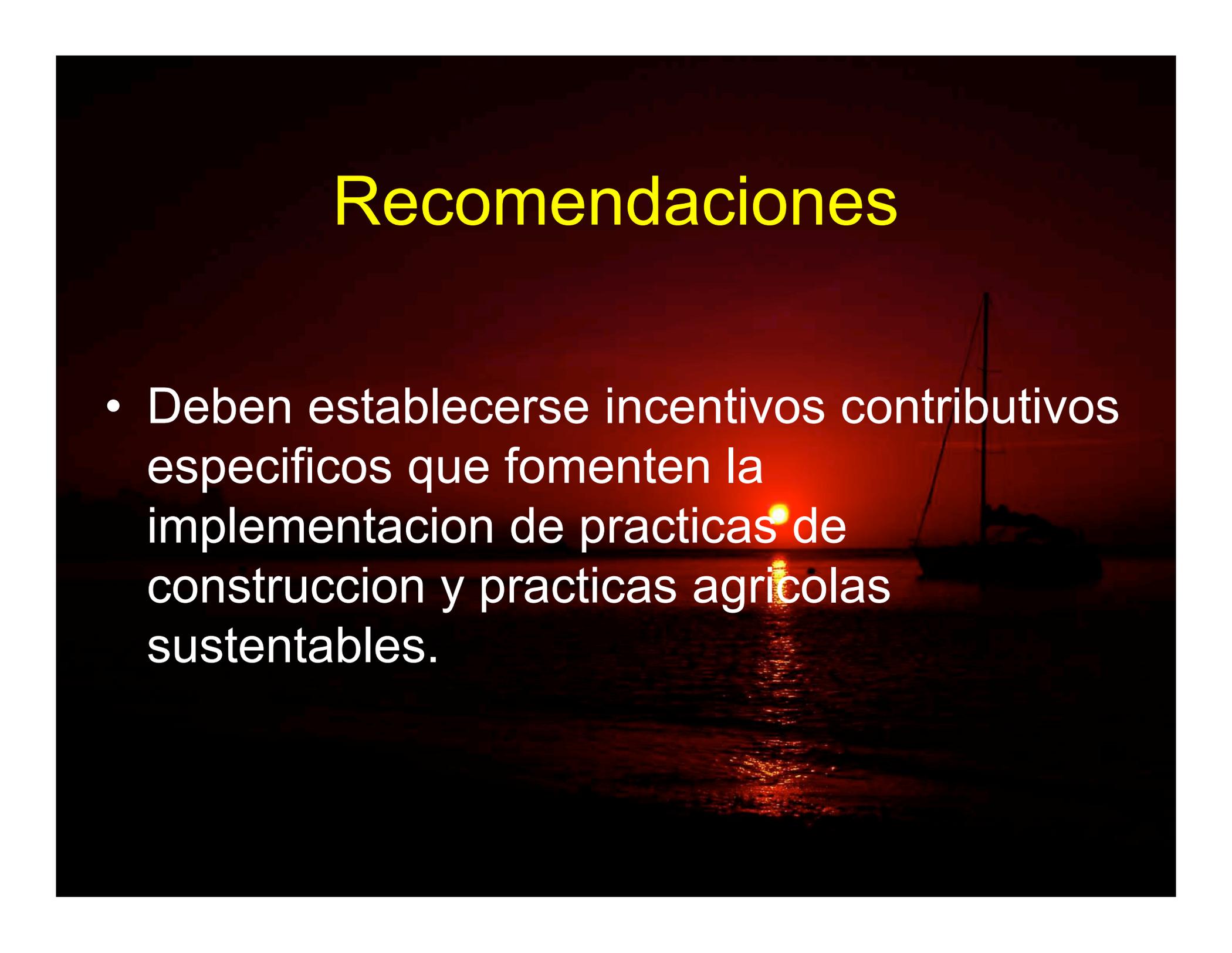
A sunset over a body of water with a sailboat silhouette. The sun is low on the horizon, casting a bright orange glow across the sky and reflecting on the water. The sailboat is silhouetted against the bright light of the setting sun.

- Supervisar el uso dado a los permisos simples.
- Ser mas diligente en atender querellas por deforestacion (ej. Culebra).

# Recomendaciones a la JCA

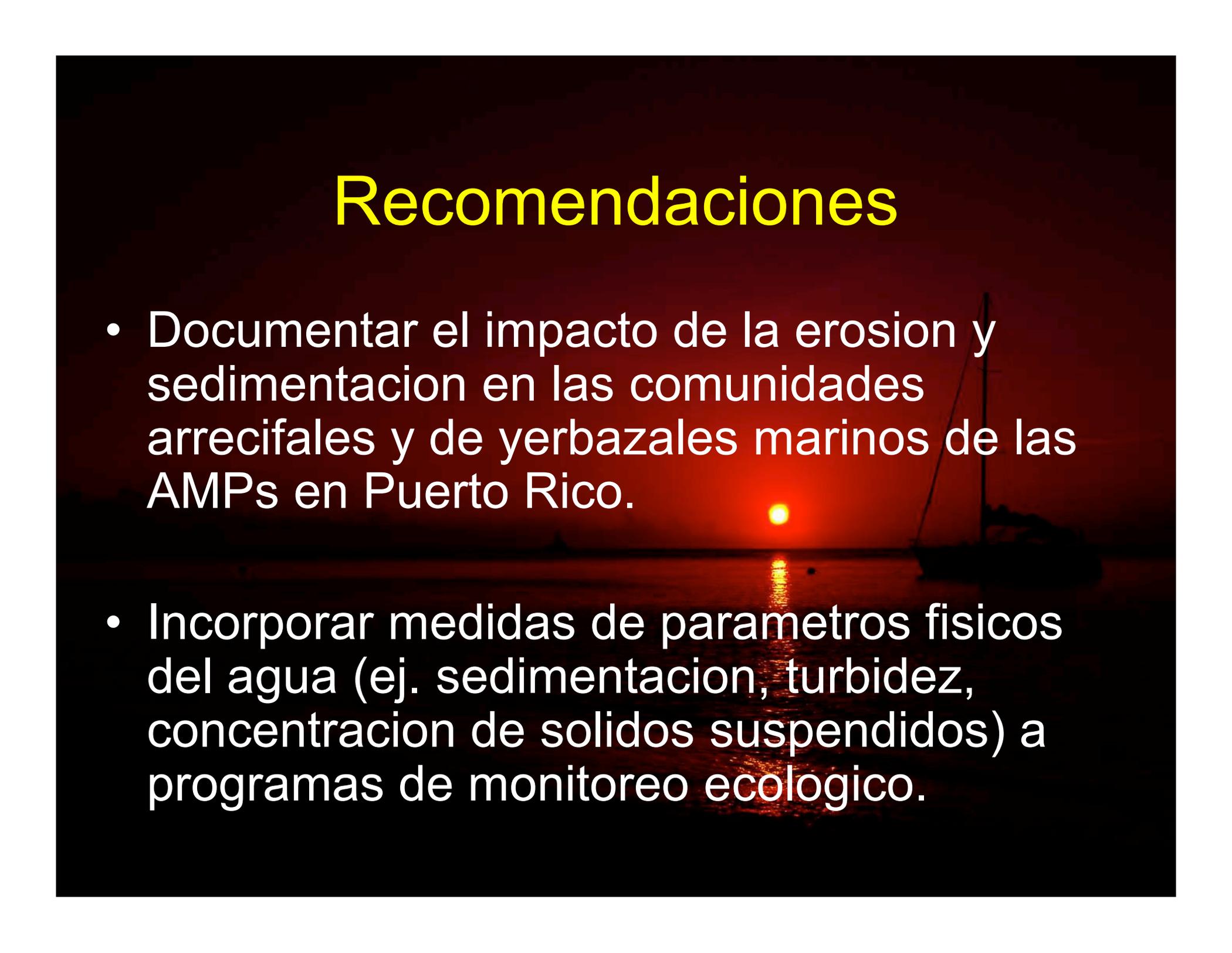
- Ser mas diligente en atender querellas por falta de implementacion del Reglamento CES.
- Desarrollar tecnicas de SIG y modelaje matematico de tasas de erosion de suelos aplicables a islas tropicales.

# Recomendaciones

A sunset over the ocean with a sailboat silhouette. The sun is low on the horizon, casting a golden glow across the sky and reflecting on the water. The sailboat is dark against the bright sky.

- Deben establecerse incentivos contributivos específicos que fomenten la implementación de prácticas de construcción y prácticas agrícolas sustentables.

# Recomendaciones

A sunset over the ocean with a sailboat silhouette. The sun is low on the horizon, casting a golden glow across the sky and reflecting on the water. The sailboat is dark against the bright sky.

- Documentar el impacto de la erosión y sedimentación en las comunidades arrecifales y de yerbazales marinos de las AMPs en Puerto Rico.
- Incorporar medidas de parámetros físicos del agua (ej. sedimentación, turbidez, concentración de sólidos suspendidos) a programas de monitoreo ecológico.

# Agradecimientos

- Caribbean Coral Reef Institute (UPR-Mayaguez).
- U.S. Coral Reef Initiative.
- Programa Sea Grant-UPRM.
- DEGI-UPR-RP.
- Asociación de Pescadores de Culebra.
- Coralations.
- Sociedad Ambiente Marino.
- Asociación Estudiantil Ataní, UMET.
- Ford Motor Company Foundation.
- Roland Pesch & Kathy Roskopf Foundation.
- National Fish & Wildlife Foundation.
- Universidad de Puerto Rico, Depto. Biología.

[coral\\_giac@yahoo.com](mailto:coral_giac@yahoo.com)

¡Gracias! ¿Preguntas para papá?



[coral\\_giac@yahoo.com](mailto:coral_giac@yahoo.com)