



Kevian
PHOTOGRAPHY

EVOLUCIÓN DE LAS “ROCAS DE PLAYAS” EN PUERTO RICO EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y SU INFLUENCIA EN LOS PROCESOS COSTEROS Y LA EROSIÓN COSTERA

Kevian Augusto Pérez Valentín, Ph.D.

Investigador Postdoctoral, Instituto de Planificación e Investigación Costera de Puerto Rico

Escuela Graduada de Planificación, UPR-RP

24-10-2023





¿QUÉ ES UNA ROCA DE PLAYA (“BEACHROCK”)?

Kevin
PHOTOGRAPHY

El término “beachrock” se refiere a estructuras naturales costeras duras de origen sedimentario que se forman en zonas intermareales mediante la precipitación de cementos entre granos de arena.

Para este estudio, solo se estudiaron rocas de playa restringidas a áreas costeras. Sin embargo, se han identificado rocas de playa en costas templadas (Iturregui et al., 2014), desiertos (Whittle et al., 2020), zonas supramareales (Kelletat, 2006) y lagos (Binkley et al., 1980; Benson, 1994; Jones y otros, 1997).

Problemas ambientales asociados a las zonas costeras y la importancia del estudio de estas formaciones rocosas para el manejo costero en Puerto Rico

La erosión costera es un proceso natural común.

La erosión costera representa un grave riesgo para los ecosistemas y también afecta los medios de vida de quienes dependen de los recursos costeros.

La isla presenta una serie de riesgos costeros:

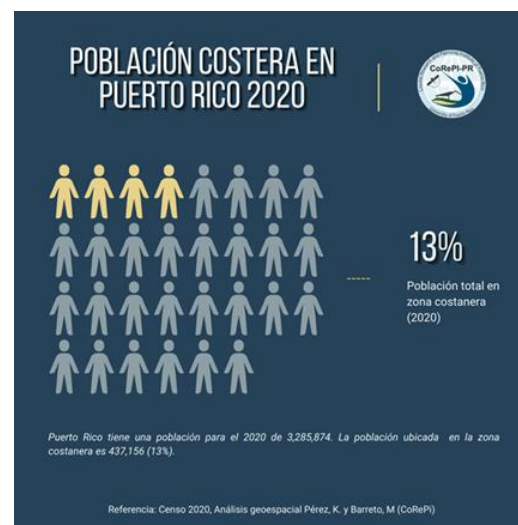
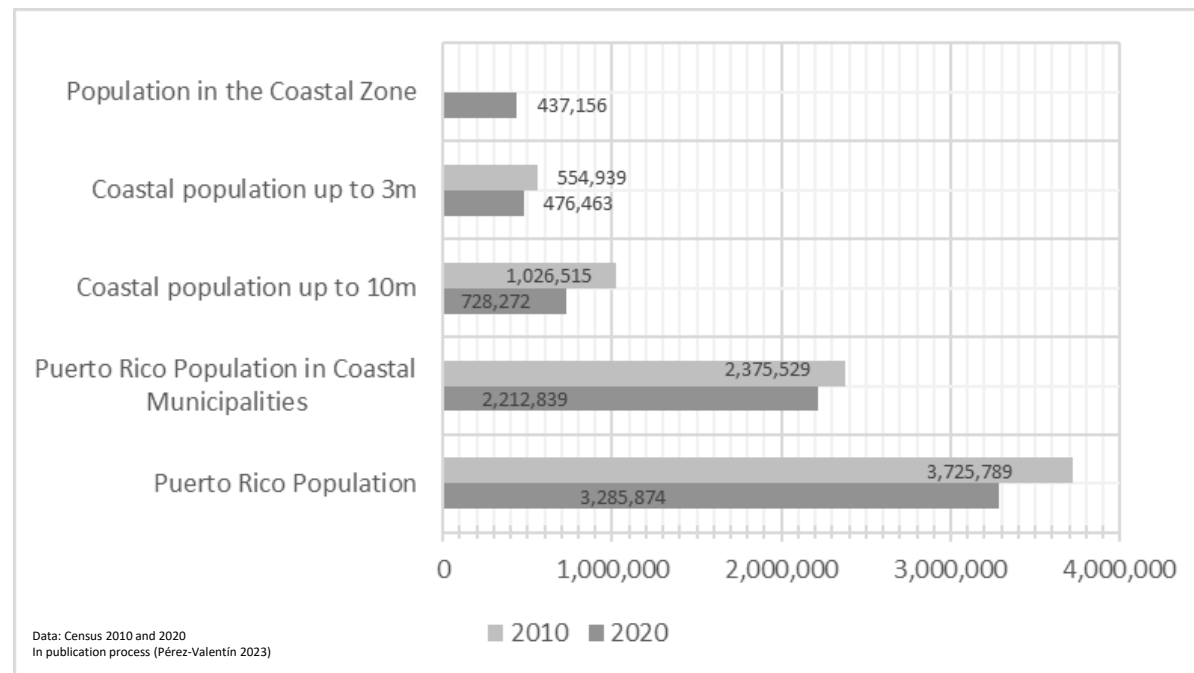
erosión costera, marejadas ciclónicas, inundaciones por marejadas, deslizamientos costeros, contaminación, uso de terrenos, cambio climático, daños sísmicos y fragmentación del hábitat costero.

Las **zonas costeras** pueden experimentar importantes **efectos ambientales, económicos y sociales asociados con el cambio climático y la erosión costera**, incluida la **destrucción de hábitat, deterioro** de zonas naturales de amortiguamiento costero, infraestructura, especialmente **infraestructura crítica** en zonas bajas.

La erosión costera se convierte en un “Wicked Problems” cuando resulta en la pérdida de infraestructura y/o pérdida de ecosistemas.

Reto: Buscar soluciones a problemas costeros ambientales complejos (“Wicked Problems”)

Las rocas de playa emergen como una posible herramienta novedosa para gestionar la erosión costera y los problemas ambientales costeros.



Problemas ambientales asociados a las zonas costeras y la importancia del estudio de estas formaciones rocosas para el manejo costero en Puerto Rico

La comprensión de los procesos costeros naturales asociados con la formación y aparición de las rocas de playa puede utilizarse para:

- Mantener la resiliencia de los ecosistemas costeros
- Proteger la infraestructura crítica
- Reconocer a las rocas de playa como una barrera de protección natural

Priorizar el estudio integrado de las rocas de playa en Puerto Rico para abordar problemas ambientales, ya que las rocas de playa proporcionan:

- información valiosa sobre cambios pasados en el nivel del mar.
- procesos costeros
- generan nuevos hábitats aptos para la colonización de especies epilíticas y endolíticas
- proporcionan información sobre posibles estrategias para mitigar la erosión costera.

Apoyar estrategias de manejo y esfuerzos de conservación en regiones costeras de Puerto Rico.

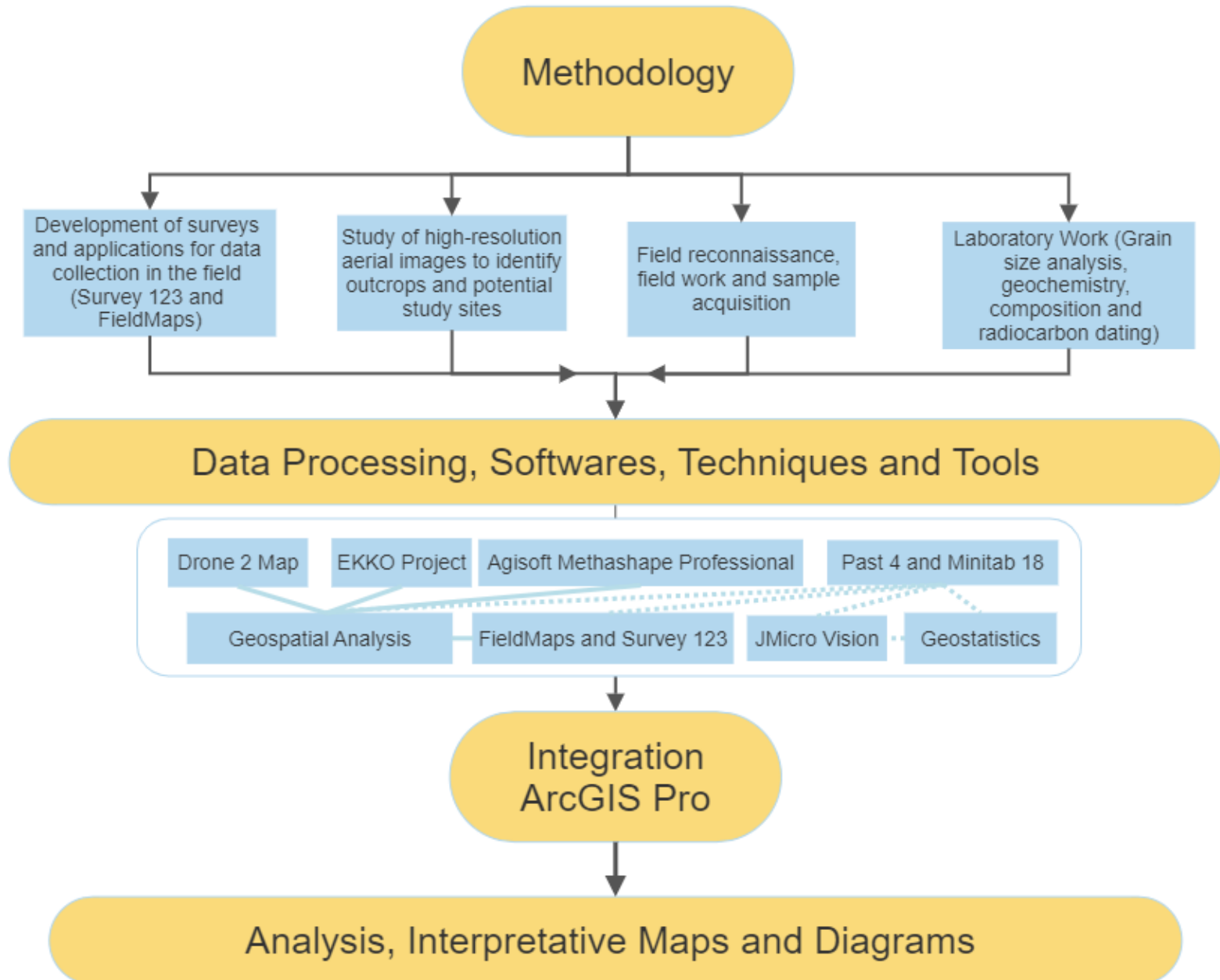


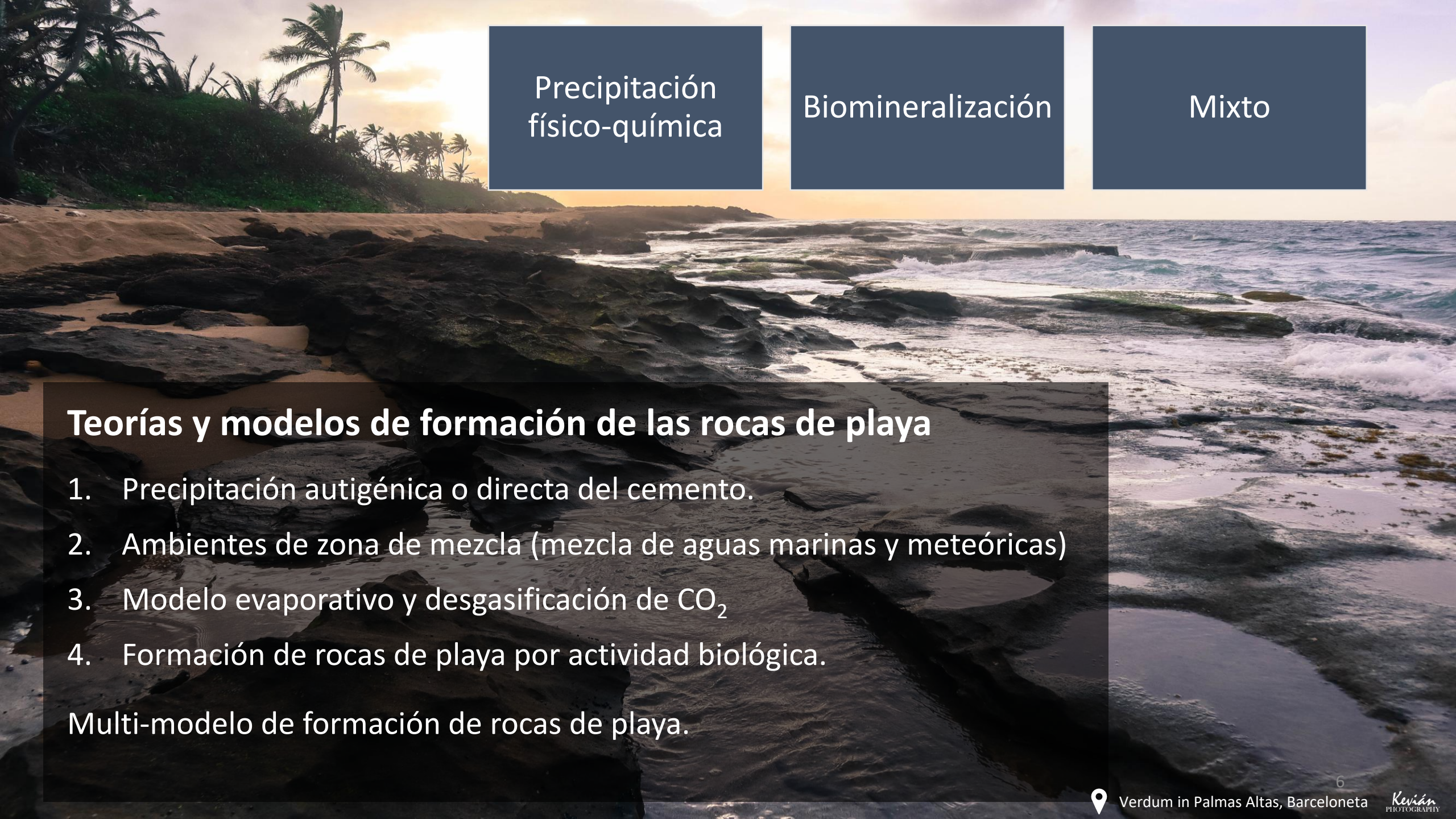
Grandes Desafíos en la Costa de PR

- Aumento de la erosión costera desde que se tienen estudios extensivos en el tema (Morelock, 1978).
- Pérdida de ancho y elevación de playa en la mayoría de playas de la Isla luego del huracán María (Barreto, et al., 2017; CoRePI-PR, 2022).
- Aproximadamente, el 32% de la infraestructura crítica estaba ubicada en una Zona Costera de (elevaciones costeras menores a 10 m).
- Necesidades de investigaciones e incremento de datos confiables para utilizar como línea base para los procesos de toma de decisiones en la Isla.

Metodología

1. Un estudio centrado en una revisión de la literatura sobre las rocas de playa en Puerto Rico.
2. Desarrollo de encuestas y aplicaciones para recolección de datos en el *campo* utilizando *Survey123* y *FieldMaps* de *ESRI*.
3. Estudio de imágenes aéreas de alta resolución para identificar afloramientos y posibles sitios de estudio.
4. Trabajo de campo y adquisición de muestras.
5. Trabajo de laboratorio.





Precipitación
físico-química

Biomíneralización

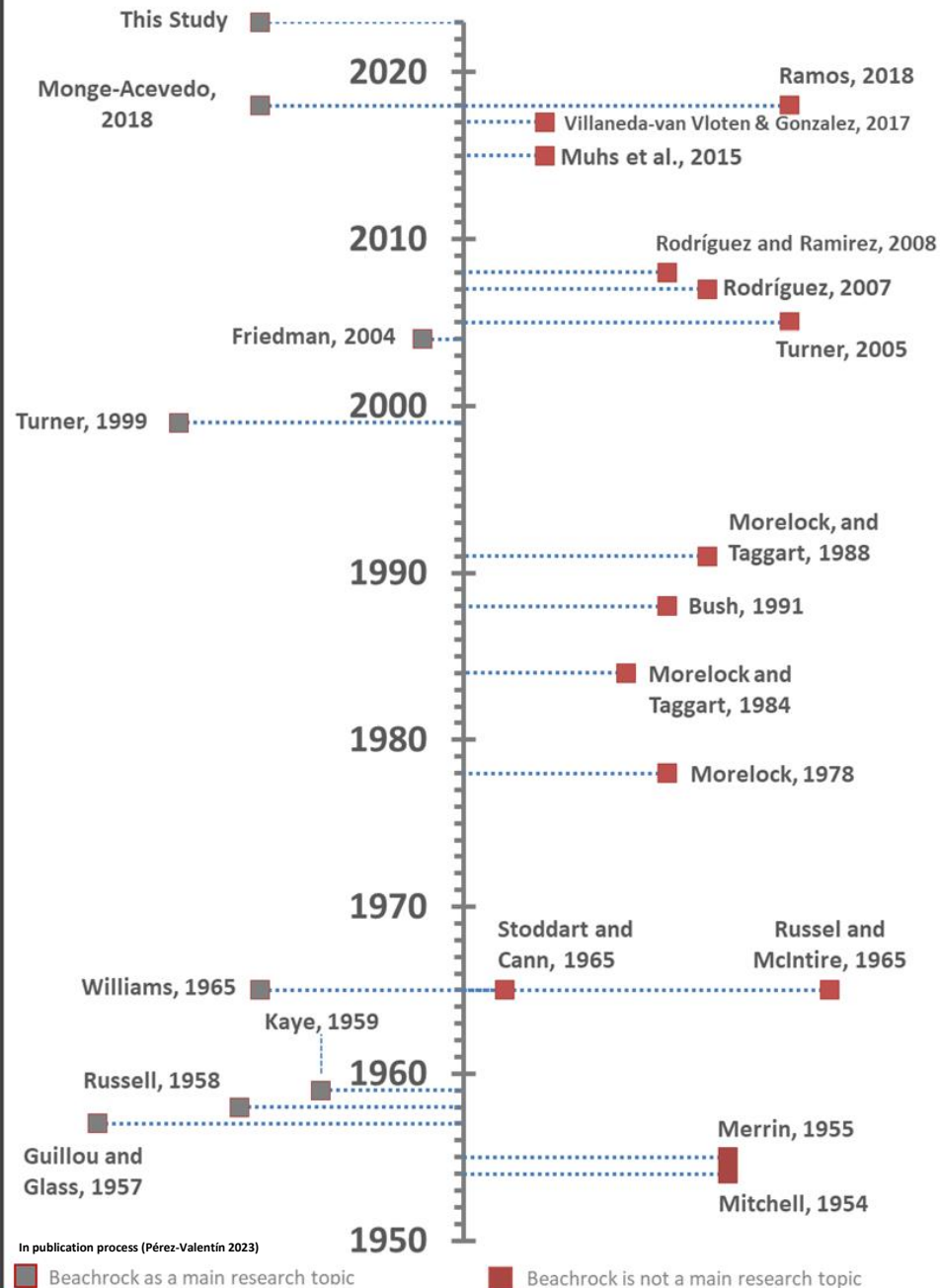
Mixto

Teorías y modelos de formación de las rocas de playa

1. Precipitación autigénica o directa del cemento.
2. Ambientes de zona de mezcla (mezcla de aguas marinas y meteóricas)
3. Modelo evaporativo y desgasificación de CO_2
4. Formación de rocas de playa por actividad biológica.

Multi-modelo de formación de rocas de playa.

Beachrocks in the Puerto Rican Scientific Literature



Cronología de las rocas de playa en la literatura científica de Puerto Rico

- Los primeros estudios dedicados íntegramente al estudio de las rocas de playa en Puerto Rico fueron realizados por Seymour Merrin y Mitchell.
- Guillou y Glass (1957) realizaron las primeras descripciones sedimentológicas y petrográficas en el artículo titulado "A Reconnaissance Study of the Beach Sands of Puerto Rico".



ROBERT BARTON GUILLOU
(1923-1985)



Shoreline Features and Quaternary Shoreline Changes Puerto Rico
CLIFFORD A. KAYE
COASTAL GEOLOGY OF PUERTO RICO
GEOLOGICAL SURVEY PROFESSIONAL PAPER 317-B
A study of new forms resulting from deposition and solution of calcareous sediments in regional seas and from re-arrangement and grading of deposits between the island's natural coasts. Prepared in cooperation with the Puerto Rico Water Resources Institute, the Puerto Rico Economic Development Administration, Puerto Rico Agriculture and Livestock Institute, and Puerto Rico Department of the Interior.
UNITED STATES GOVERNMENT PRINTING OFFICE: WASHINGTON : 1959

- El primer estudio sistemático sobre fue realizado por Clifford A. Kaye en 1959.
- Este trabajo presenta el primer análisis petrográfico óptico y el primer mapa de distribución de rocas de playa para Puerto Rico basado en prospección geológica y fotointerpretación de levantamientos aéreos de 1936-1937 y 1951.

Guillou and Glass, 1957



2022



Guillou and Glass, 1957



2022



Distribución de las rocas de playa en Puerto Rico

Distribución de rocas playa, arrecifes de coral y calizas en Puerto Rico

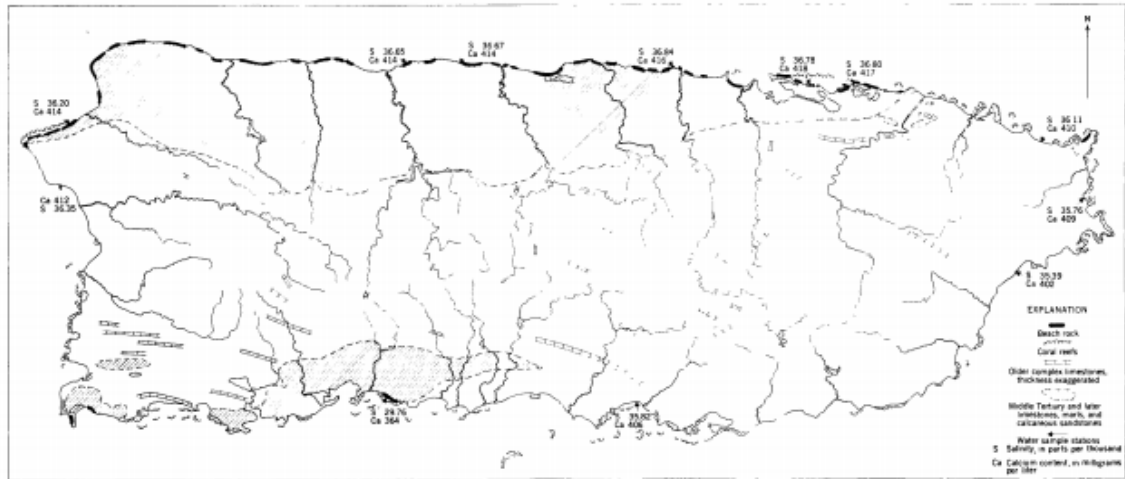
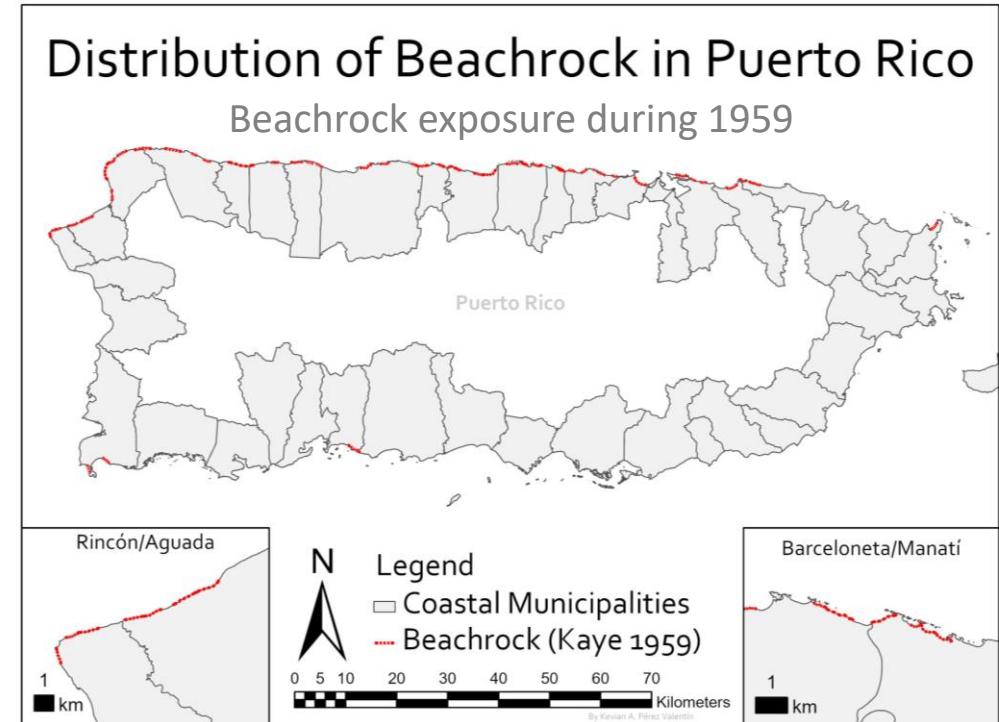


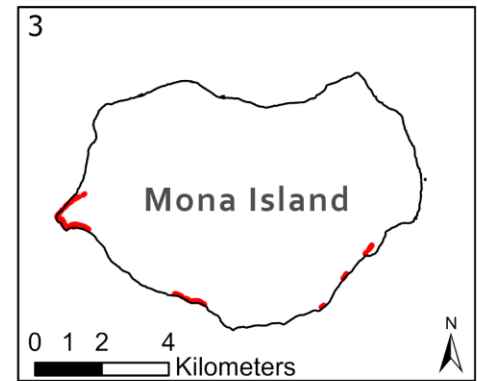
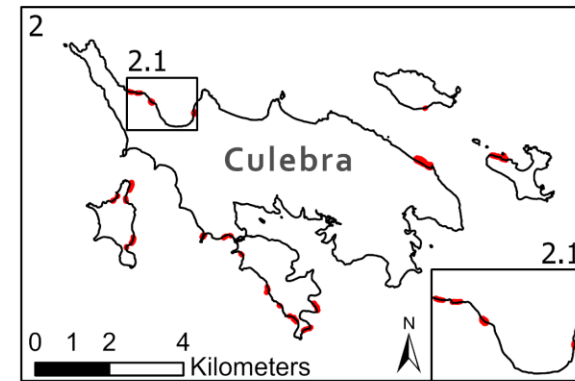
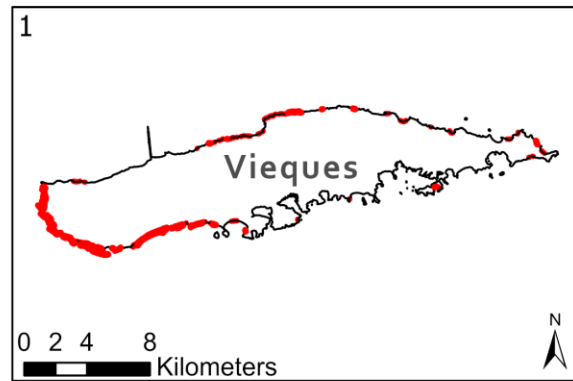
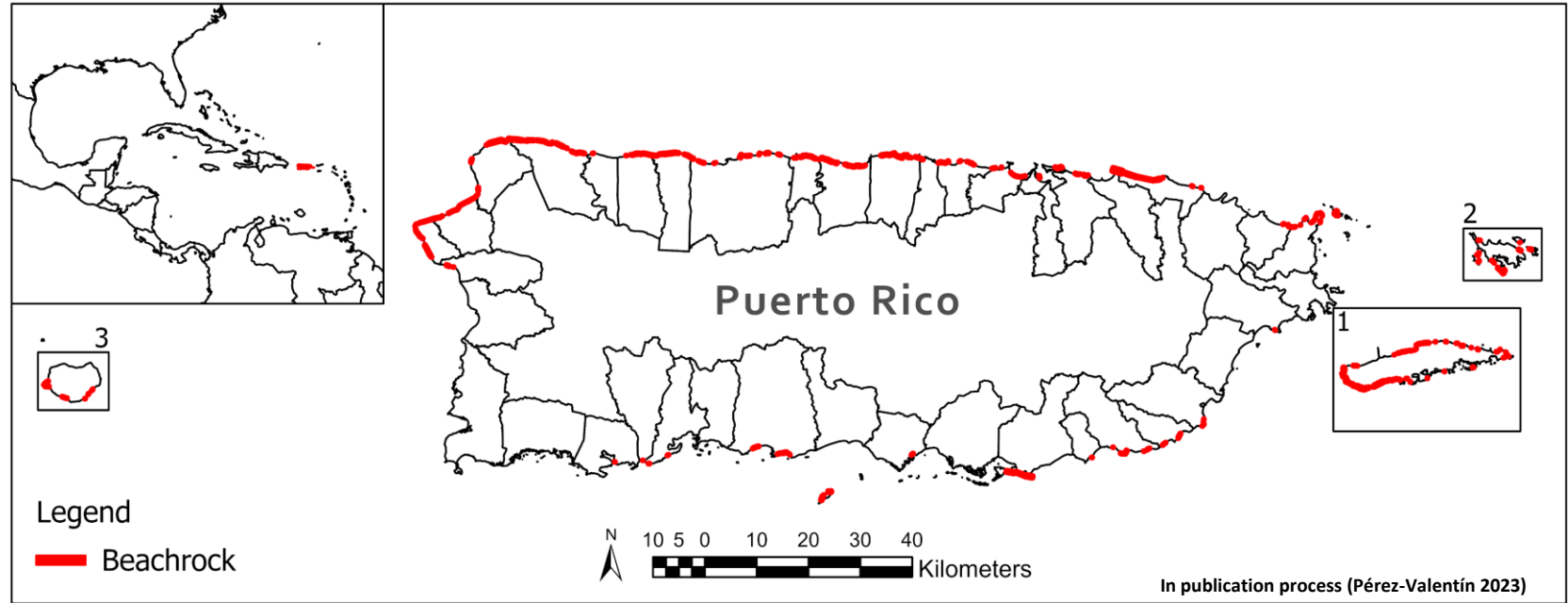
FIGURE 26.—Distribution of beachrock, coral reefs, and limestone in Puerto Rico. Coral colonies that do not reach tide level are not shown.

Digitalización del mapa de Clifford A. Caye 1959



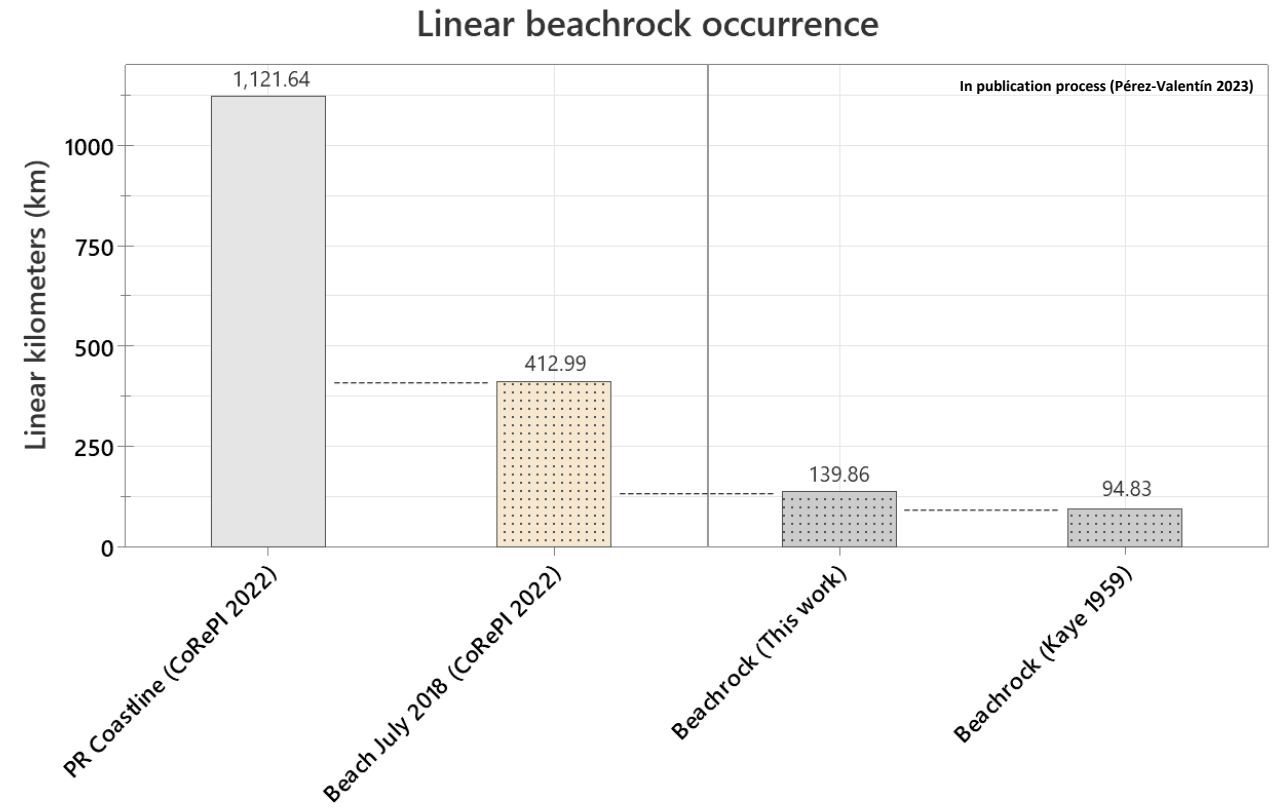
Distribución de las rocas de playa en Puerto Rico

- Este mapa incluye afloramientos submarinos y terrestres.
- El trabajo cartográfico se realizó utilizando una combinación de mapeo de campo, imágenes UAS e imágenes satelitales.
- 804 afloramientos
- Versión actualizada del trabajo de Kaye (1959).



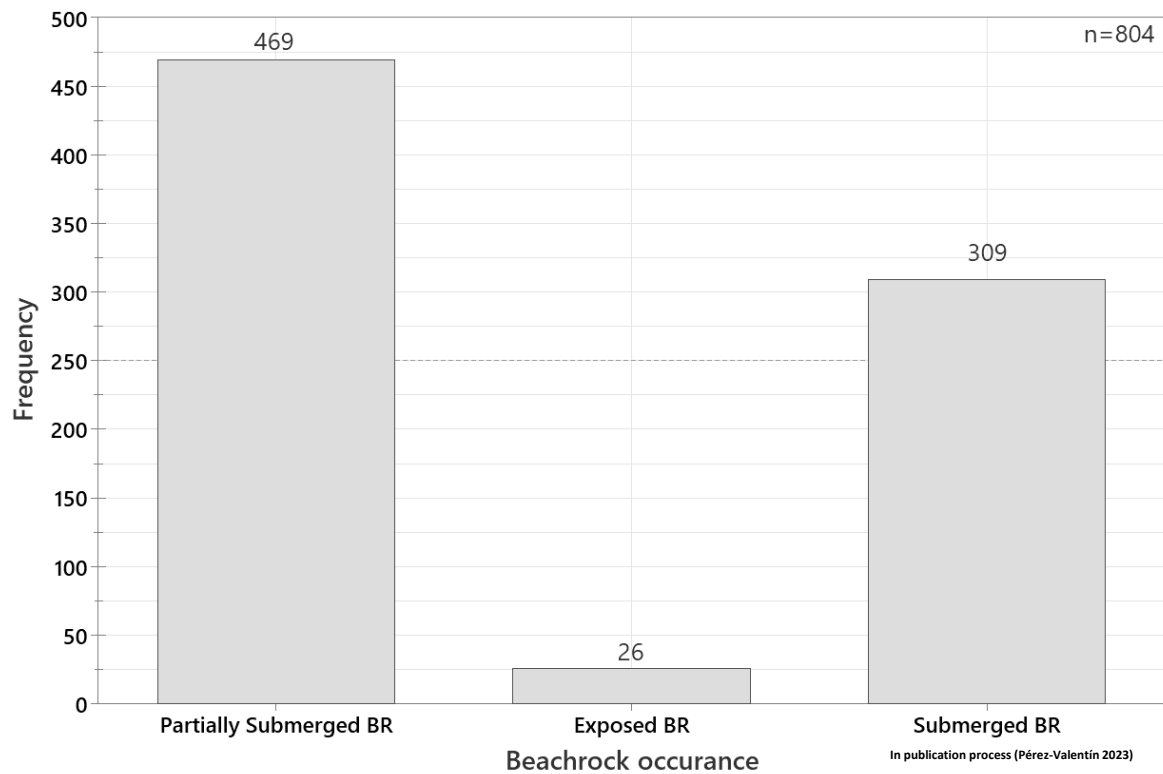
“Ocurrencia lineal” de roca de playa

- Instituto de Investigación y Planificación Costera de Puerto Rico (COREPI-PR):
 - Las playas de arena/grava para julio de 2018 tienen una extensión lineal de **412.99 km**.
- Nuestro análisis geoespacial reveló una presencia de rocas de playa de **139.86 km**, mientras que el mapa original de Kaye (1959) indica una aparición de rocas de playa lineal de **94.83 km**.
- La proporción de ocurrencia de rocas de playa en playas de arena/grava de Puerto Rico es de 0.34.
- La digitalización del mapa original de Kaye (1959) indica una proporción de presencia de rocas de playa por longitud de costa de **0.23**.
- Esto indica un aumento en la ocurrencia de erosión de las rocas de playa del **11.0%**.



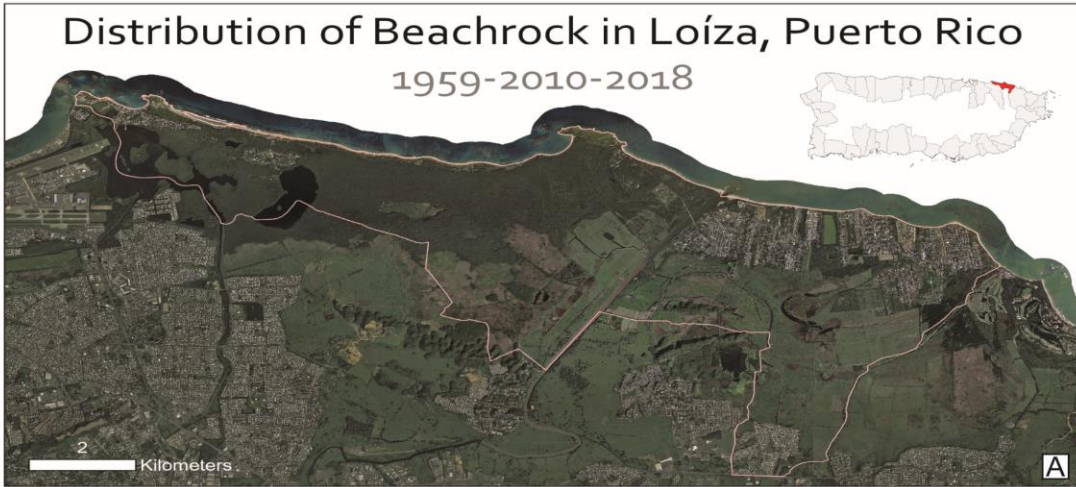
Ocurrencia lineal de rocas de playa

- CoRePI-PR (2022)
 - Julio 2018 Puerto Rico (área de playa) = 6.06 km².
 - Playa sub-aérea
- Beachrock area = 5.09 km²
 - Zona intermareal y submareal.
- Estas rocas de playa no son necesariamente parte de la playa sub-aérea.
 - Playa subaérea y sumergido
 - Paleo líneas de costa (“playas fósiles”)



Distribution of Beachrock in Loíza, Puerto Rico

1959-2010-2018



A

Distribution of Beachrock in Loíza
Beachrock exposure during 1959

Distribution of Beachrock in Loíza
Beachrock exposure during 2010

Distribution of Beachrock in Loíza
Beachrock exposure during 2018



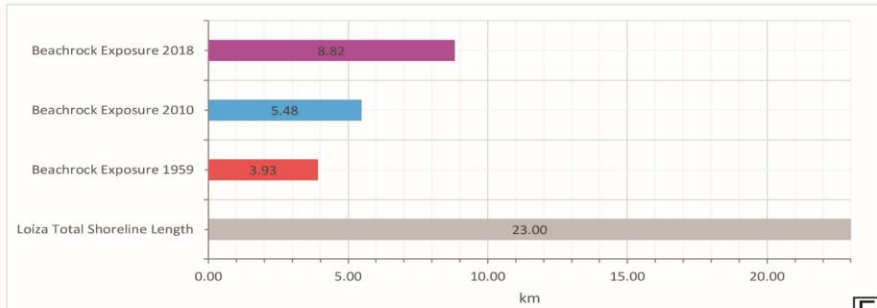
B



C



D

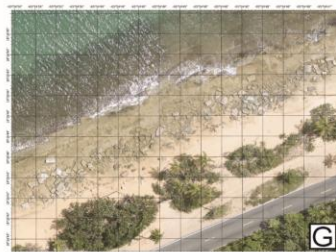


E

Slabs of beachrock and beachrock outcrops, occurring as sedimentary lenses in Loíza



F



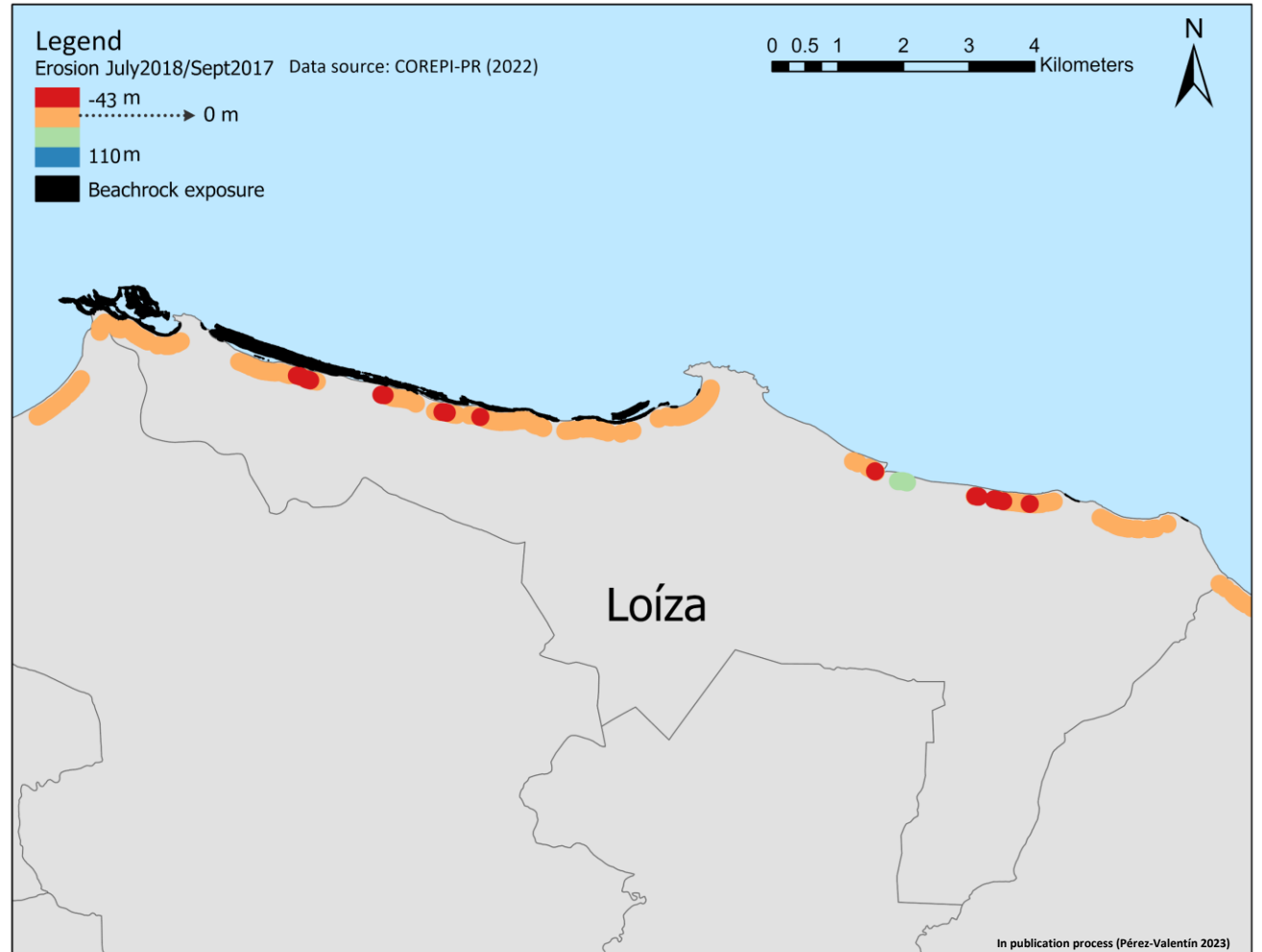
G



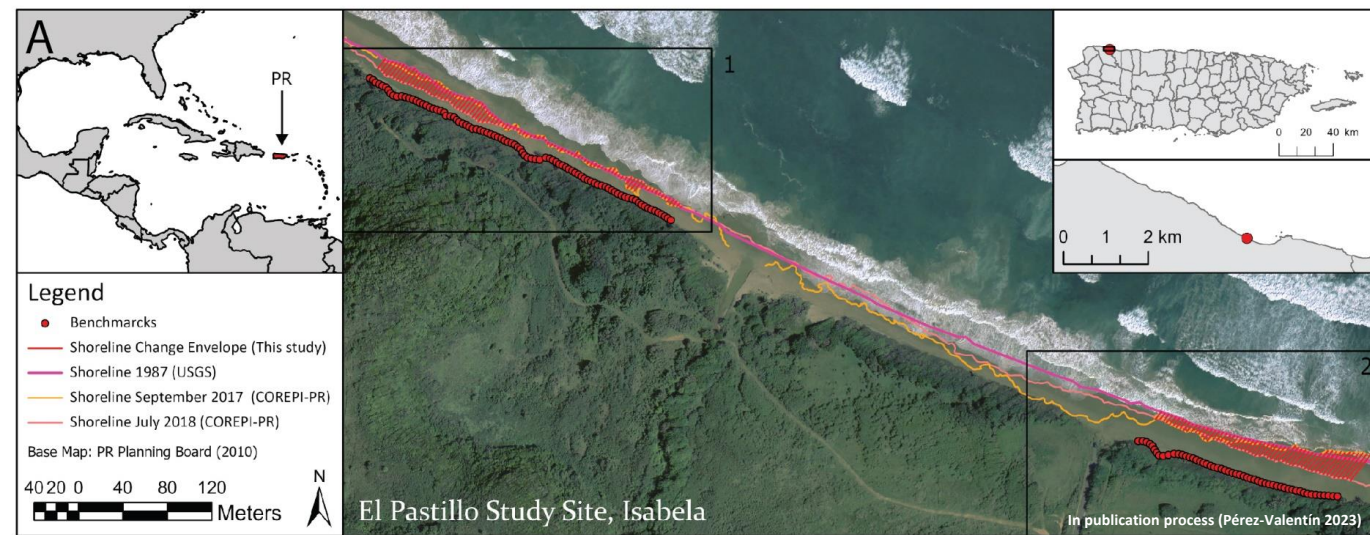
H

Distribución de Rocas de Playa en Loíza

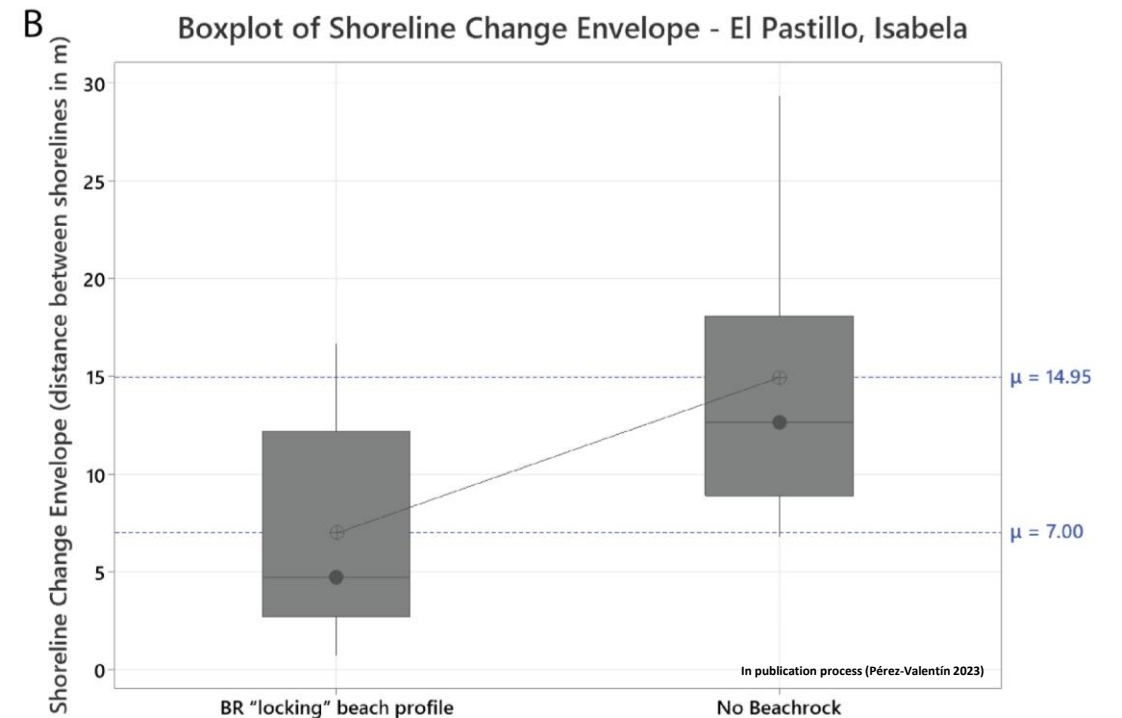
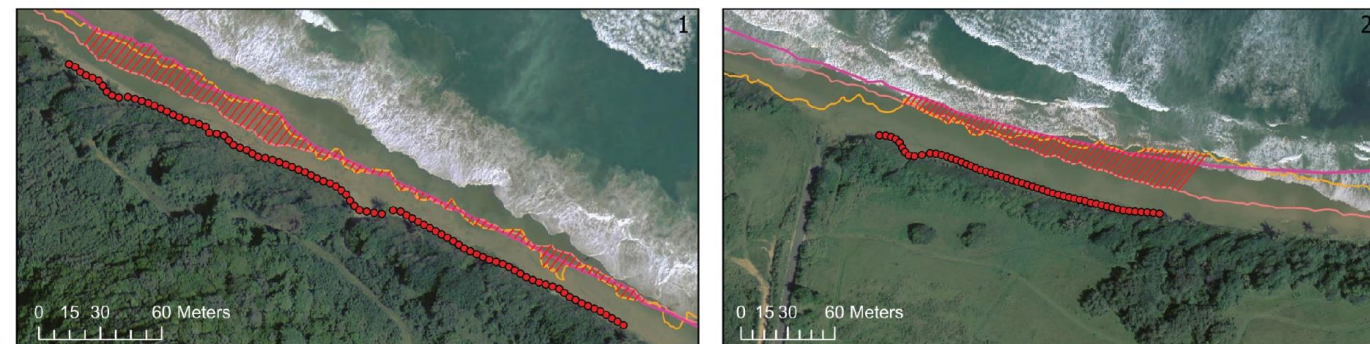
- Erosión
- Ocurrencia BR



In publication process (Pérez-Valentín 2023)



- Shoreline Change Envelope (**SCE**):
 - Es una métrica que considera todas las posiciones costeras observadas y sus respectivas distancias, independientemente de cuándo fueron registradas.
- **SCE** proporciona una medida integral del movimiento total de la costa a lo largo del tiempo, sin depender de fechas o plazos específicos.
- **SCE** eficaz para indicar el patrón costero de movimientos espaciales y temporales
 - → **Erosión, variabilidad geomórfica y obstáculos naturales**



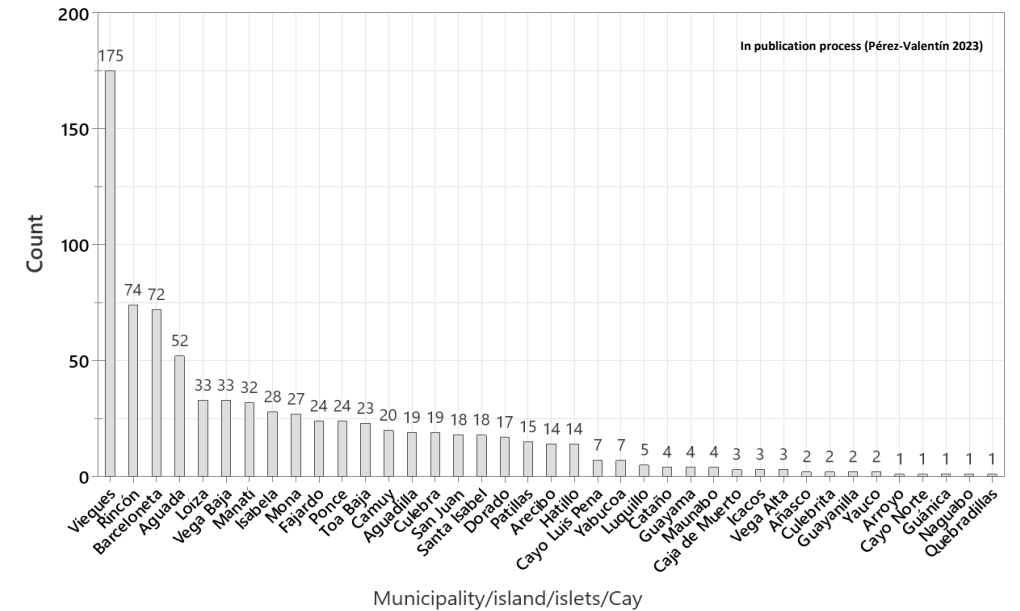
Distribución de las rocas de playa en Puerto Rico

- 804 afloramientos
- 2017-2022
- 6 municipios costeros con más presencia de rocas de playa
 - Vieques (175)
 - Rincón (74)
 - Barceloneta (72)
 - Aguada (52)
 - Loíza (33)
 - Vega Baja (33)
 - Manatí (32)

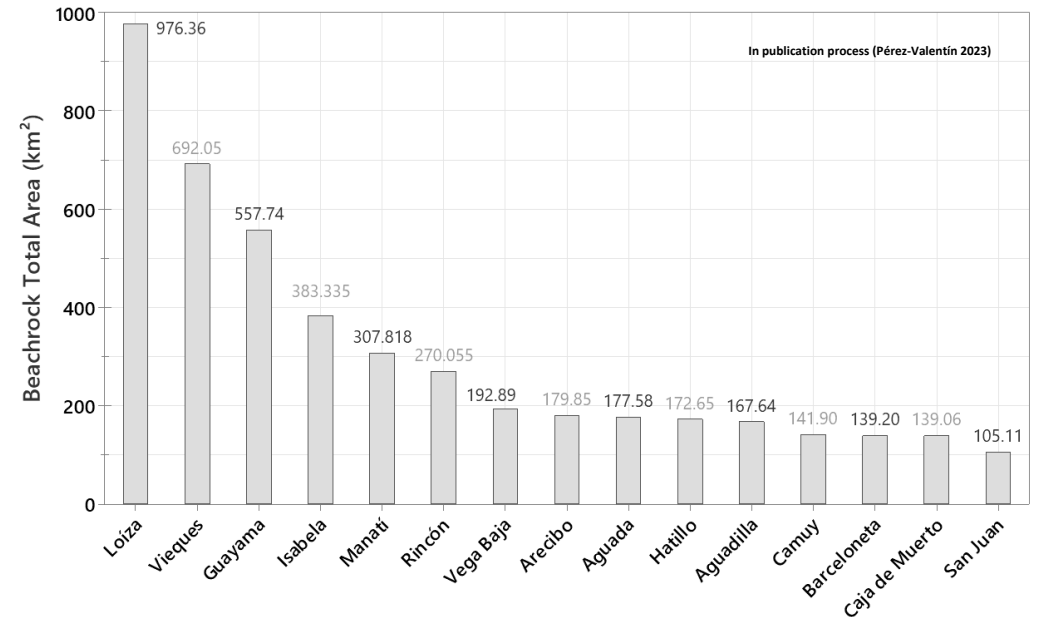
Área de exposición de roca de playa por municipio costero:

- Una evaluación geoespacial de roca de playa en Puerto Rico reveló que el área total de cobertura fue de **5.09 km²**.
- **Desde una perspectiva de gestión, la presencia en estas áreas es importante ya que estos 6 municipios costeros son destinos turísticos preferidos.**

Beachrock distribution in Puerto Rico



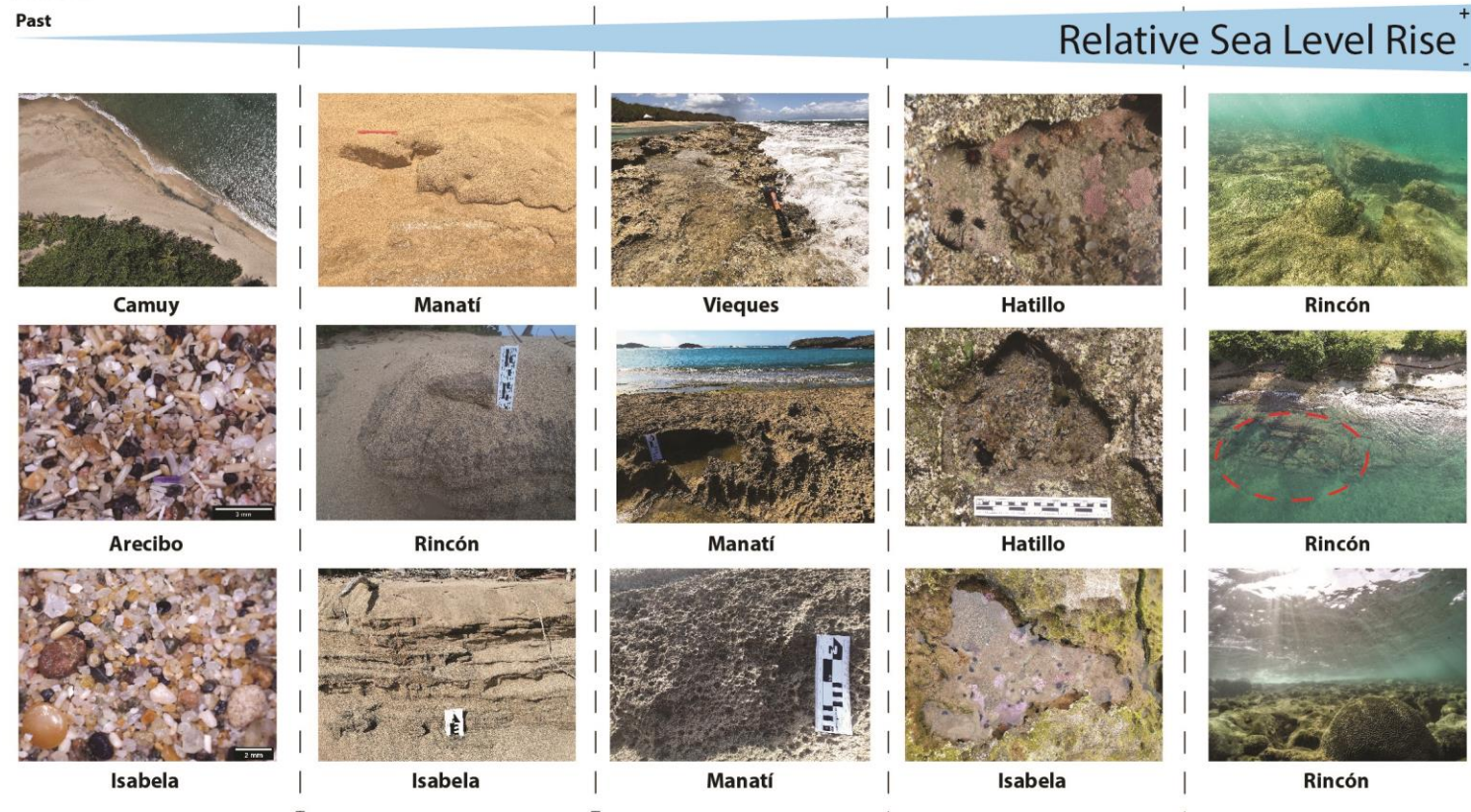
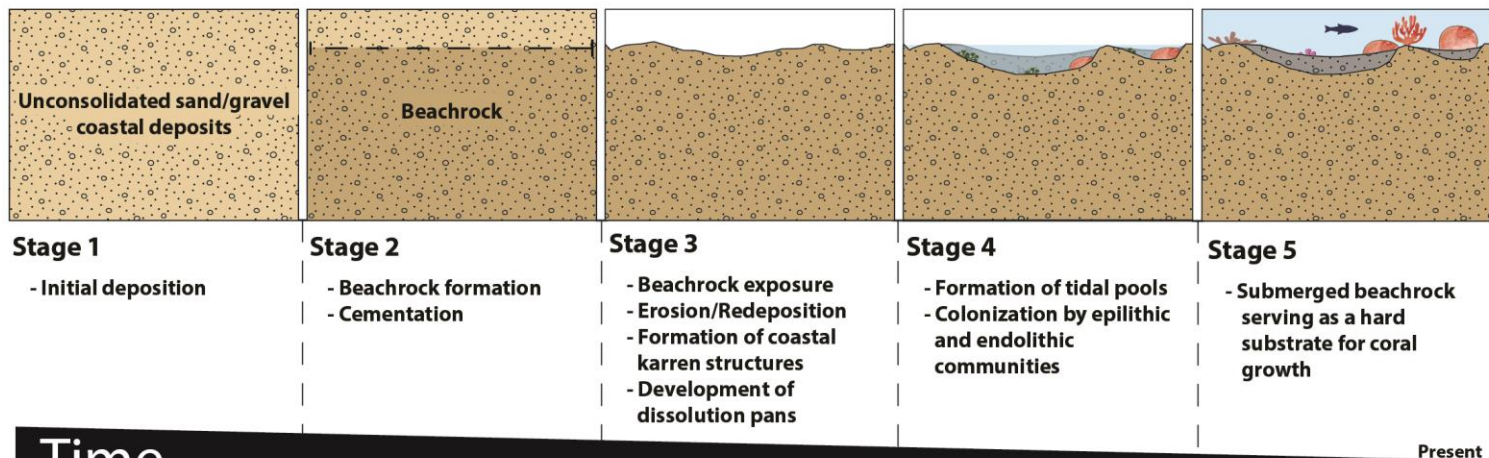
Beachrock exposure area by coastal municipality



Evolución de las rocas de playa



Nuestros resultados mostraron que la formación y exposición de las rocas de playa ocurre en 5 etapas. Las etapas de estos modelos no siempre siguen una progresión lineal estricta en los ambientes sedimentarios. Estas etapas interactúan en un complejo proceso de retroalimentación.

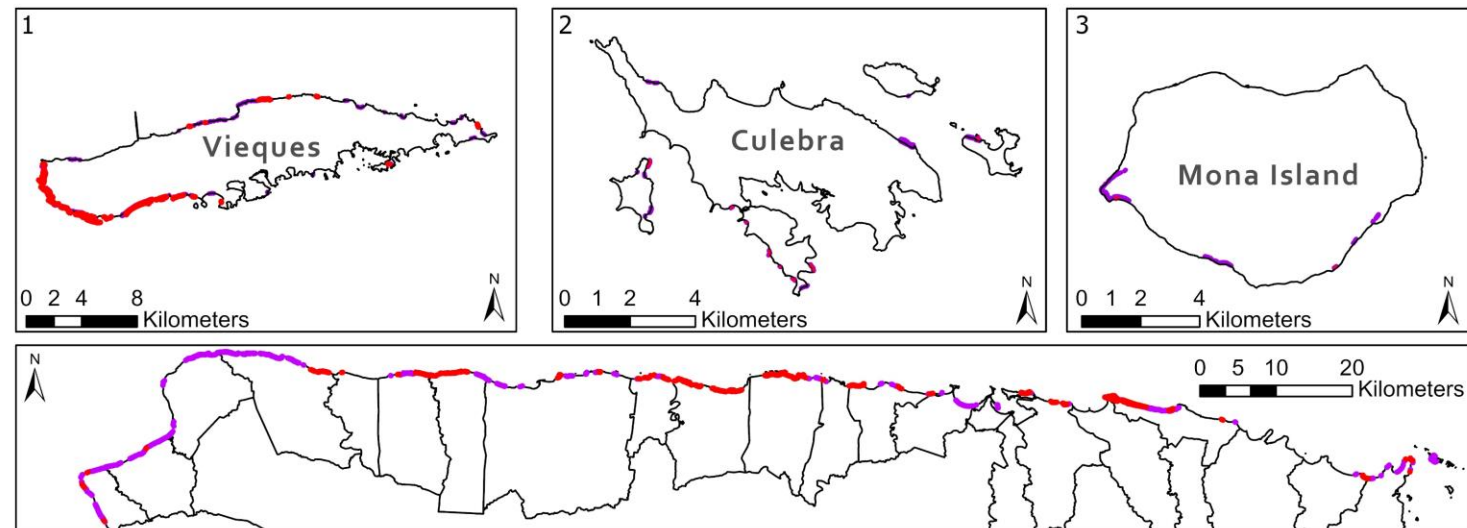
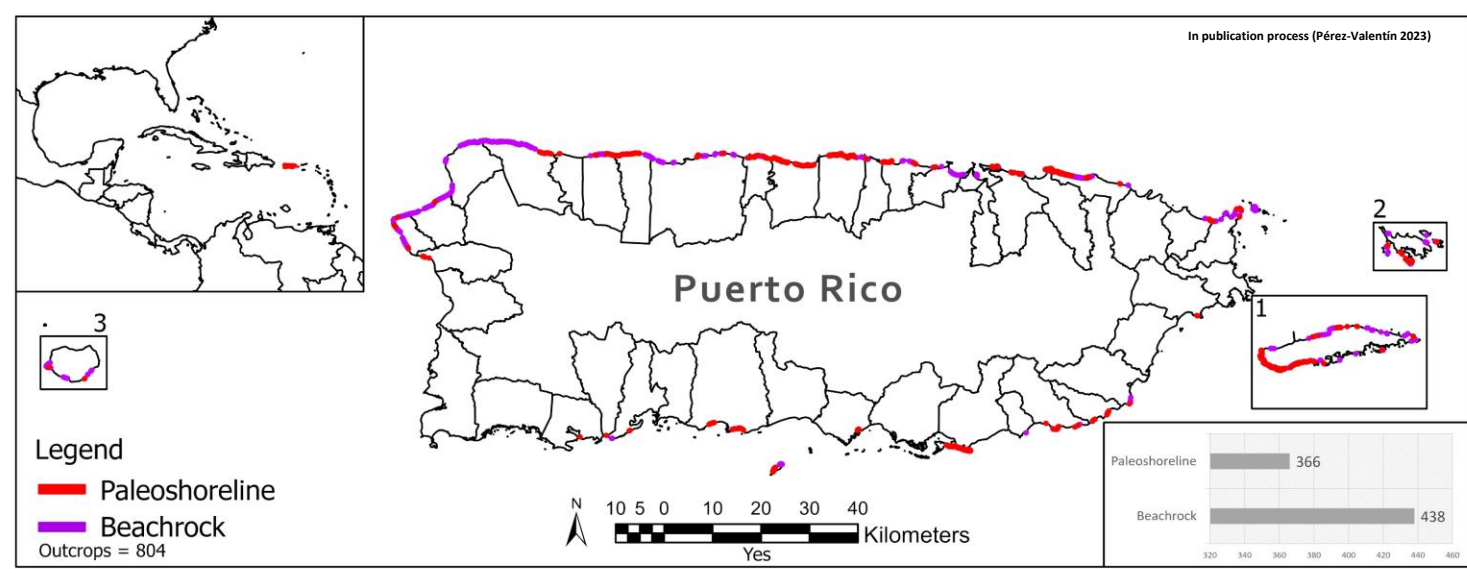


Paleoshoreline

Se considerarán como paleo-rocas de playa las rocas cuyo ángulo de buzamiento (inclinación) y orientación del afloramiento son diferentes a la playa original.

A lo largo de este trabajo, utilizamos el término “paleo-costa” para referirnos a “paleo-rocas de playa” que cumplen con los siguientes requisitos:

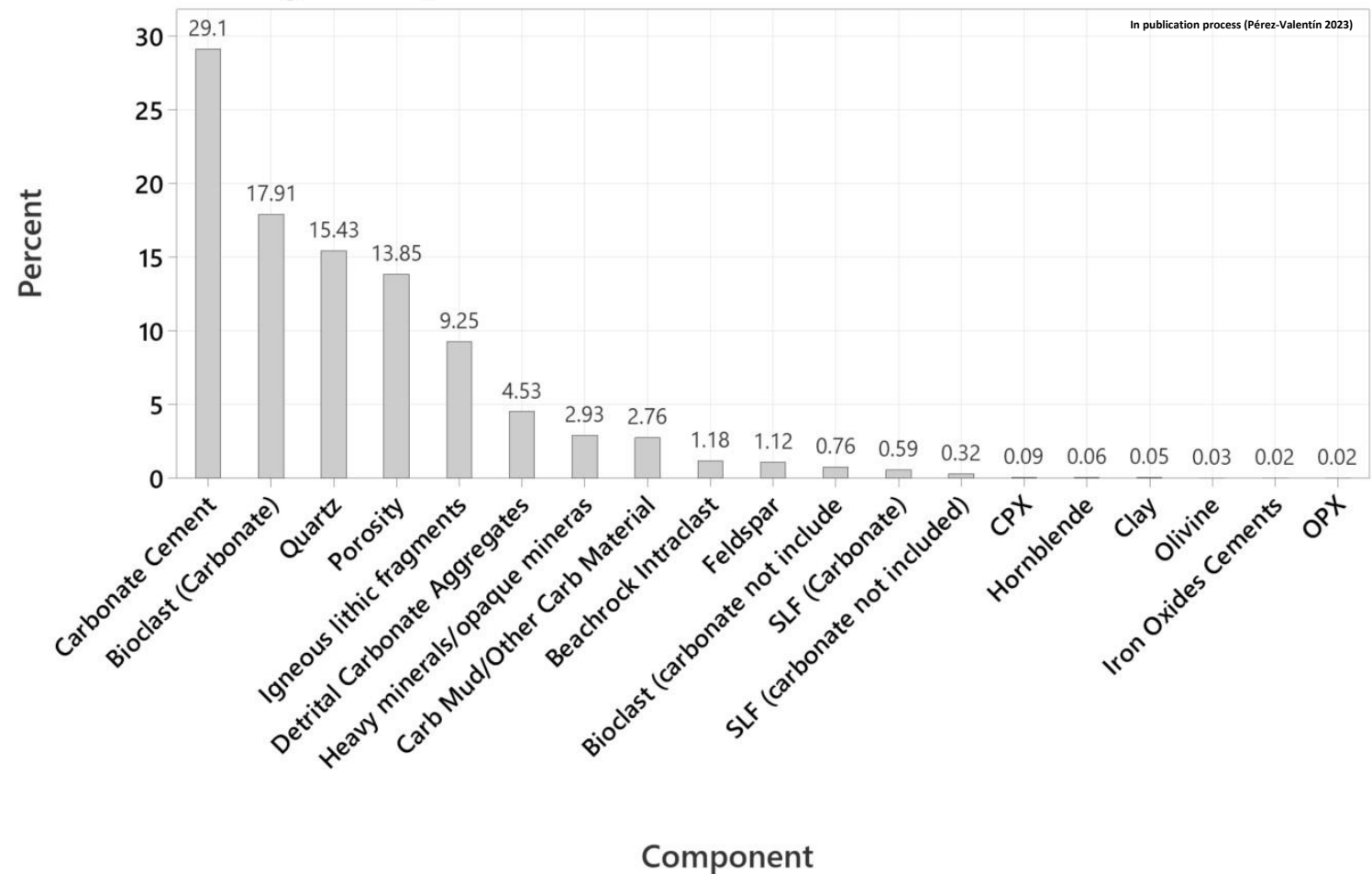
1. La inclinación de sus capas no es el esperado en relación a la playa original.
2. El afloramiento no está alineado con la posición actual de la costa.
3. Las paleo-rocas de playa exhiben un mayor grado de erosión y abrasión que las expuestas en la zona intermareal.



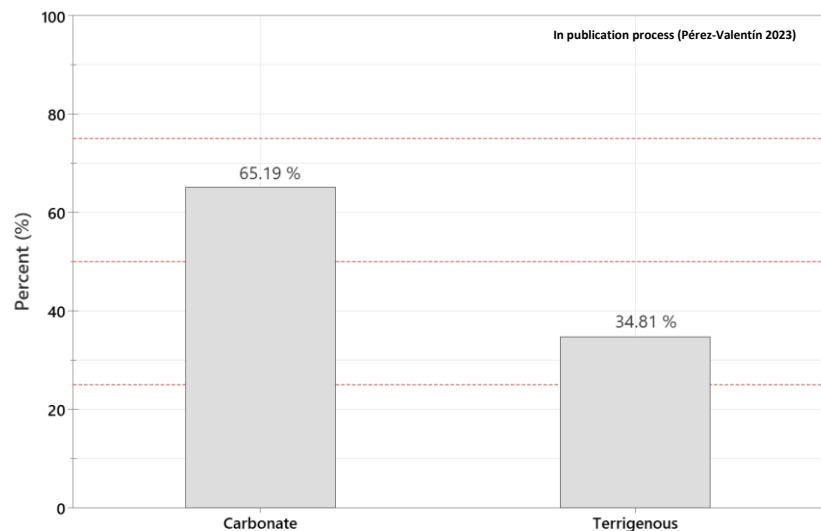
Principales componentes compositivos de las rocas playeras de Puerto Rico

- Los componentes sedimentarios de las rocas de playa son diversos y heterogéneos. Estos reflejan la naturaleza del entorno sedimentario.
- Las rocas de playa contienen sedimentos tan diversos y heterogéneos como las playas de Puerto Rico, como arena y grava de origen **clástico, biogénico y antropogénico**.
- La heterogeneidad composicional indica que no existe una influencia significativa en la formación de rocas de playa en Puerto Rico y la mineralogía del sedimento constituyente.

Major compositional constituents of Puerto Rican beachrocks



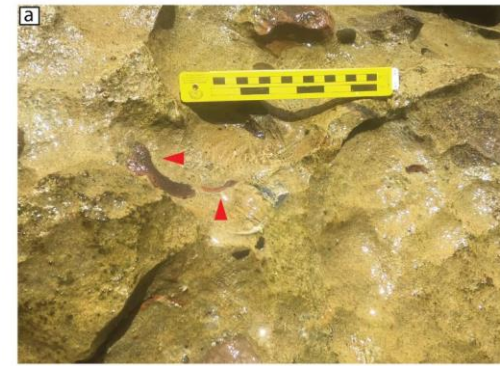
General Composition of Beachrocks



- El análisis composicional indica que las rocas playeras de Puerto Rico a nivel general tienen 65.19% de material carbonatado y 34.81% de material terrígeno.

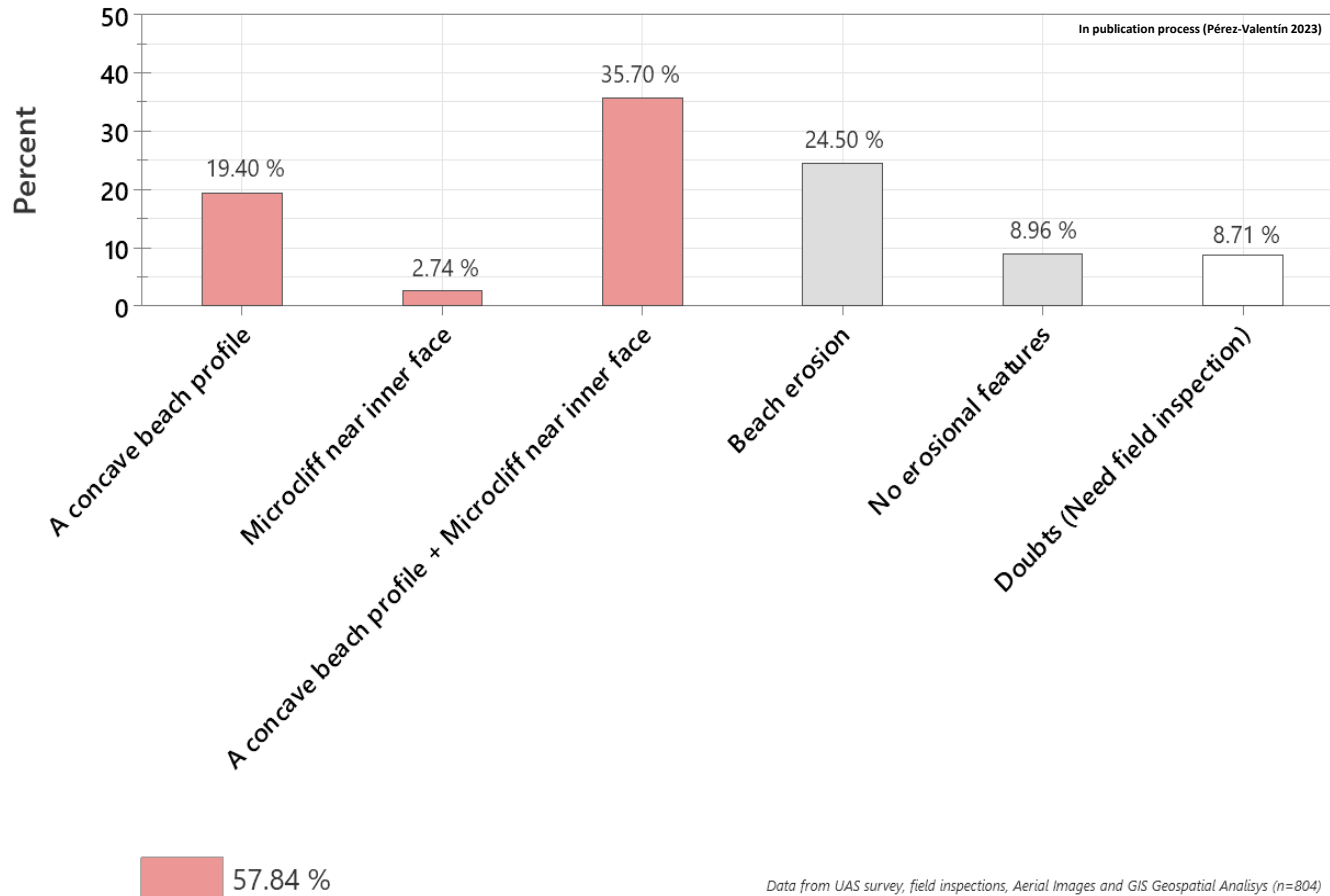
Un posible marcador de un horizonte estratigráfico y antropogénico en el registro de las rocas de playa en Puerto Rico

- Época del Holoceno (0.017 Ma-presente)
 - Groenlandian (0.017-0.0082 Ma), Northgripian (0.0082-0.0042 Ma) y Meghalayan (0.0042 Ma hasta la actualidad)
- El concepto del Antropoceno, como nueva época geológica
 - Presentado por el premio Nobel de química Paul J. Crutzen y el biólogo Eugene F. Stoermer.
- Actualmente, el Antropoceno no está aceptado formalmente por el CIS (ICS) como unidad geológica dentro de la Escala de Tiempo Geológico.
- Dada una posible incorporación del Antropoceno como una Época en la Escala de Tiempo Geológico, es importante reconocer depósitos que puedan servir como sustitutos estratigráficos dentro del Antropoceno.
 - Las rocas de playa tienen un alto potencial como indicadores del Antropoceno si se acepta el término como una época geológica formalizada, ya que muchas de ellas contienen “tecnofósiles”.
 - Proxy estratigráfico

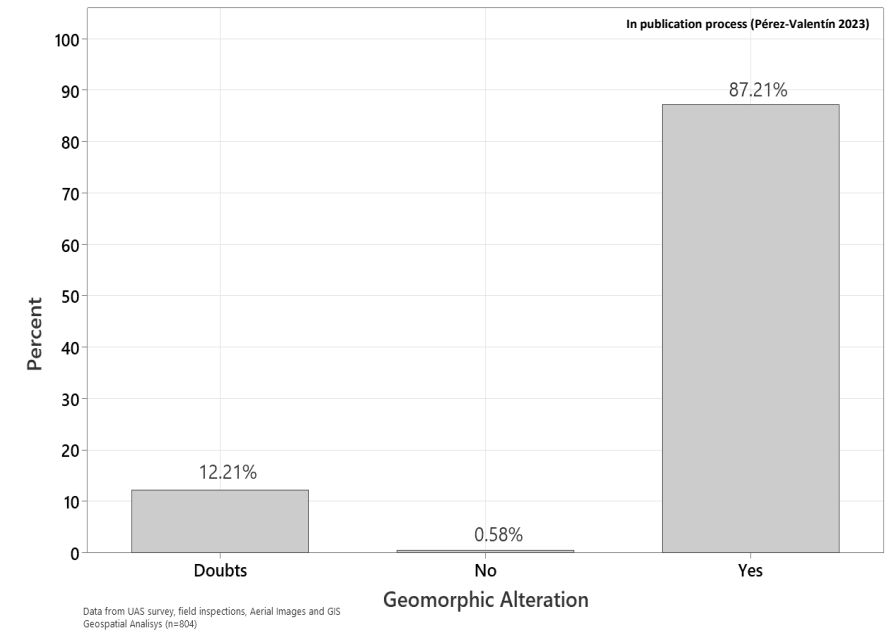


Impactos de la aparición de las rocas de playa: efecto morfodinámico, funciones e implicaciones

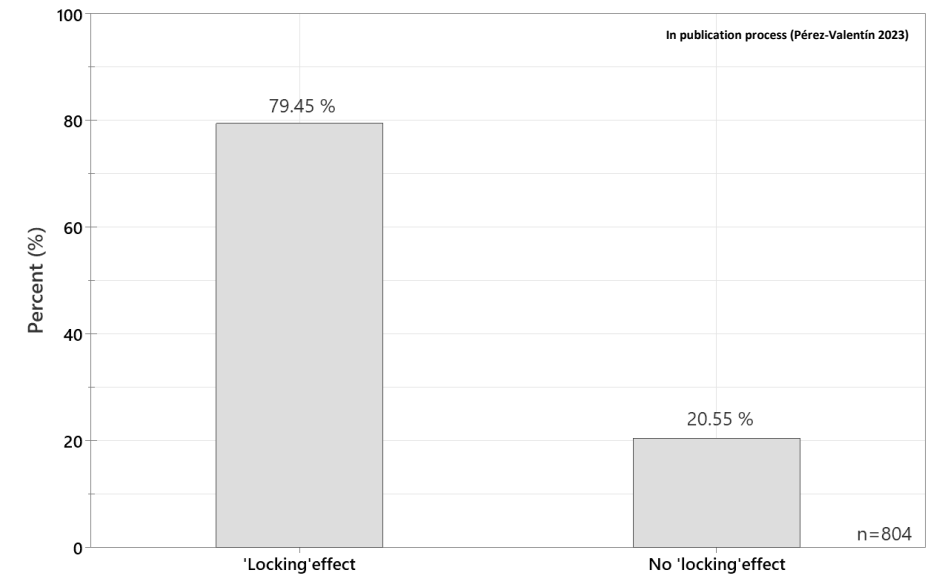
Beachrock Subaerial erosional features



BR Promoting Geomorphic Alteration Coast



Beachrock 'locking' the beach profile

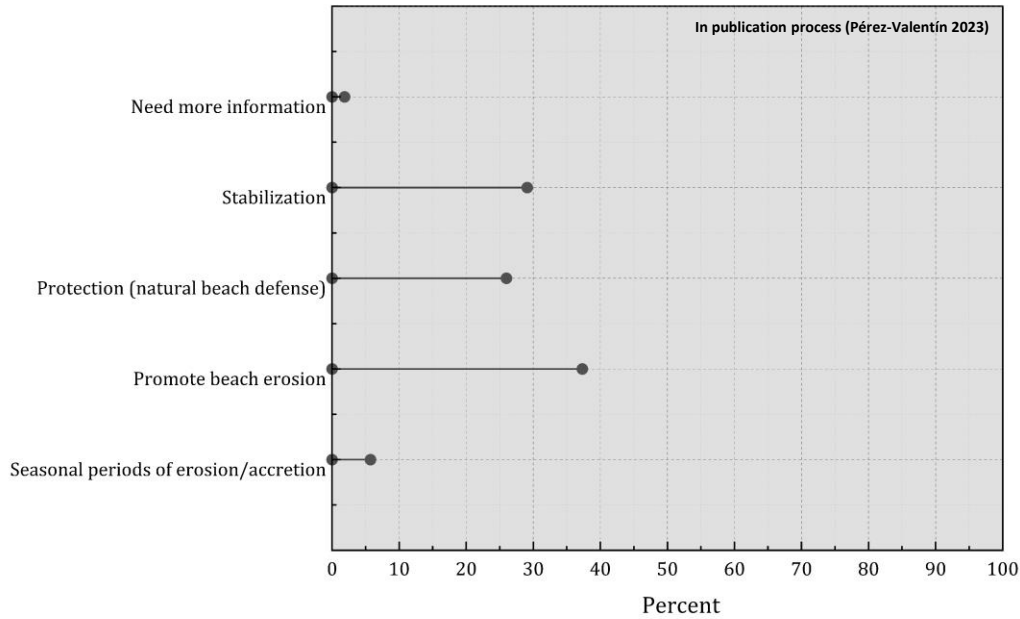


Impactos de la aparición de las rocas de playa: efecto morfodinámico, funciones e implicaciones

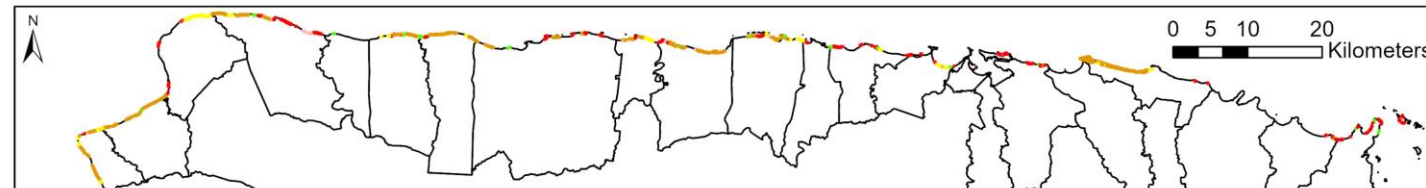
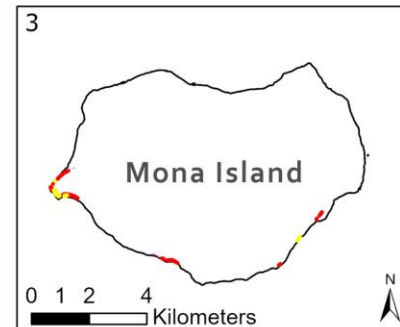
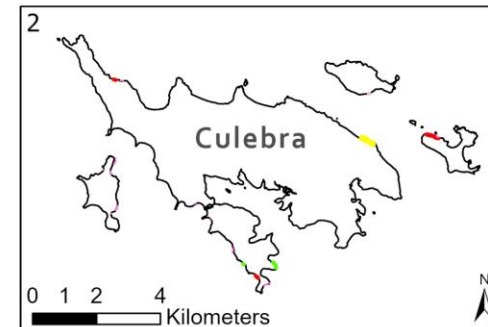
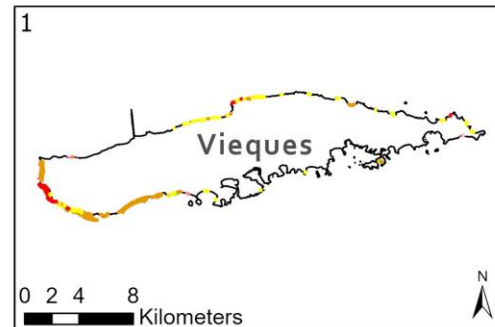
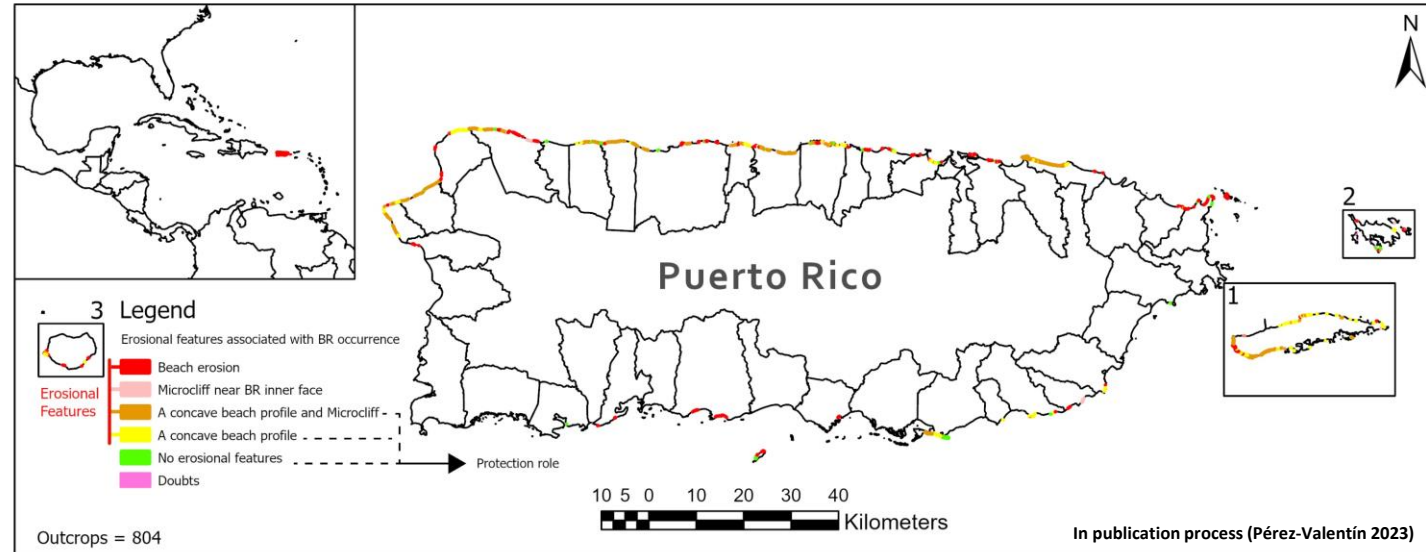
The role of Beachrock as a natural barrier

In publication process (Pérez-Valentín 2023)

Parameters



Data from UAS survey, field inspections and Aerial Images n=804



Conclusiones

- No todos los afloramientos de roca de playa analizados en este estudio tienen un efecto positivo (protección) en la morfodinámica de la playa.
 - Nuestros hallazgos son consistentes con el estudio de Turner de 1999, que demostró que no todos los afloramientos de rocas protegen las playas de la erosión como comúnmente se piensa.
- Las rocas de playa tienen un "efecto dual", ya que actúan como rompeolas naturales que reflejan y disipan la energía de las olas.
 - El efecto de la exposición a las rocas de playa en las playas varía según las condiciones sedimentológicas y oceanográficas de cada sitio costero.
- Las rocas de playa pueden mitigar la erosión costera, pero las paleo-rocas de playa sumergidas que producen substratos duros submarinos cerca de la costa promueven el rompimiento de las olas y la disipación de su energía.
- Los afloramientos de rocas playeras afectan la libre fluctuación de los sedimentos, "bloqueando" el perfil de la playa y reduciendo la capacidad de la célula litoral para incorporar nuevo material sedimentario a la playa.
- Las playas con afloramientos de rocas de playa pueden mostrar un perfil topográfico y un comportamiento morfodinámico significativamente diferentes en relación con las playas sin afloramientos de rocas de playa.
- La evidencia de este estudio demuestra que los afloramientos de rocas de playa son cada vez más frecuentes en el entorno costero.

Las exposiciones de rocas de playas están asociadas en áreas donde hay una erosión costera significativa.



Punta Maracayo, Hatillo

Kevin
PHOTOGRAPHY

Conclusiones

- Comprender cómo interactúan las rocas de playa con su entorno es crucial para entender cómo su presencia afecta los procesos morfodinámicos de las playas.
- Este conocimiento es necesario para desarrollar planes ambientales y de mitigación en áreas vulnerables a la erosión costera que tienen rocas de playa como parte del sistema bio-sedimentario.
- La presencia de rocas de playa debe incluirse en el debate público sobre la erosión costera y los efectos relacionados del cambio climático.
- Los proyectos, estrategias y evaluaciones de mitigación deben incorporar las rocas de playa como parte del entorno costero.
- Estas estrategias deben reconocer áreas donde la ocurrencia de rocas de playa puede mitigar las zonas costeras del impacto de las olas y la erosión, reduciendo la susceptibilidad de los ecosistemas y comunidades.
- Las rocas de playa sumergidas deben reconocerse y protegerse como posibles hábitats o "refugios" adecuados para los corales escleractinios y otros organismos epilíticos.
 - Las rocas de playa sumergidas formando sustrato estable fueron la presencia de corales (*Porites astreoides*, *Porites porites*, *Porites furcata*, *Pseudodiploria clivosa*, *Pseudodiploria strigosa* y *Favia fragum*)
- Las rocas de playa deben aceptarse como barreras físicas naturales en la costa.



Steps, Rincón

An aerial photograph of a beach. The top half of the image shows clear, turquoise water with white foam from waves washing onto a sandy beach. A stone wall runs along the top edge of the beach. The bottom half of the image shows the sandy beach with some driftwood and a small figure of a person. The text '¿Preguntas?' is overlaid in the center in a white, sans-serif font.

¿Preguntas?