



Evaluación de cambios en la costa del municipio de Loíza, Puerto Rico, en área cercana a Parcelas Suárez de 2016 a 2023

Campos Febus, Iván A¹, Díaz Clemente, Rigchel A.², Lugo Matos, Christian J.³
Instructor: Dr. Fernando Gilbes Santaella

*Universidad de Puerto Rico – Recinto de Mayagüez
Departamento de Geología, GEOL 4048- Aplicaciones Geológicas de Percepción Remota
13 de mayo de 2024*

Abstract

El presente estudio se enfoca en evaluar la precisión de las imágenes captadas por el satélite Sentinel 2 de Copernicus para detectar cambios en la línea costera y cuantificar la erosión en una región específica del municipio de Loíza, cercana a Parcelas Suárez. Mediante el uso de herramientas de análisis en el software ENVI 6.0, se llevó a cabo un proceso exhaustivo de preprocesamiento, corrección atmosférica y delimitación de áreas de interés. Además, se aplicaron técnicas de clasificación supervisada y no supervisada para identificar características costeras de la erosión. Los resultados obtenidos revelan una pérdida total de costa de 9.26 metros durante el período estudiado, con un promedio anual de erosión de 1.16 metros. Se encontró que la clasificación supervisada fue más efectiva que la no supervisada para este propósito. Estos hallazgos resaltan la utilidad de las imágenes de Sentinel 2 y el software ENVI en la detección y cuantificación de la erosión costera, ofreciendo información valiosa para la gestión y planificación de recursos en zonas costeras similares.

1. Introducción

La erosión es un proceso donde las partículas del suelo cambian de localización. En el caso de la erosión costera, esta es causada cuando la costa pierde arena. Puerto Rico ha sufrido efectos de la erosión en sus costas a través de los años. Este fenómeno ha sido ocasionado tanto por factores naturales como también por consecuencia de actividades humanas.

El municipio de Loíza ha sido uno de los lugares en la isla que ha sido afectado por la erosión. Entre las

causas principales, se encuentran los efectos de fenómenos atmosféricos como los huracanes Irma y María que afectaron esta zona en 2017. Los vientos y la marejada ciclónica provocada por estos sistemas tuvieron efectos catastróficos que exacerbaban la erosión en su costa.

La costa del municipio de Loíza también ha sido afectada por construcciones de residencias y otros establecimientos durante las pasadas décadas. La costa del área de Parcelas Suárez ha sido una de las que ha reflejado mayores consecuencias por la erosión, especialmente por los huracanes antes

mencionados. En 2017, se identificó erosión en un 60% de la costa y acreción en 40% de esta (Barreto et al., 2017).

2. Preguntas científicas

¿Se pueden utilizar las imágenes del satélite Sentinel 2 de Copernicus para detectar cambios en la línea costera a lo largo del tiempo?

¿Cómo se pueden utilizar los datos de Sentinel 2 para identificar y cuantificar la erosión costera en áreas específicas?

¿Qué técnicas de procesamiento de imágenes en ENVI son más efectivas para identificar características costeras vulnerables a la erosión?

3. Objetivo

El objetivo de este proyecto es evaluar y hacer una comparación del estado de la costa en un área cercana a Parcelas Suárez del municipio de Loíza durante el periodo de 2016 a 2023.

4. Hipótesis

Se espera que las herramientas a utilizarse en ENVI ayuden a evaluar el estado de la costa en el área cercana a Parcelas Suárez del municipio de Loíza.

Se espera que durante el período de 2016 a 2023 se observe un cambio en la zona costera (erosión) en el área especificada de dicho municipio.

5. Metodología

5.1 Generación de imágenes

Para este trabajo, se obtuvieron imágenes del portal cibernético *Copernicus Open Access Hub*. Se descargaron diez imágenes del período de 2015 a 2023 (una imagen de cada año tomada en el mes de febrero). Nueve de las diez imágenes fueron tomadas por el satélite Sentinel-2 L2A y una (2017) por el satélite Sentinel-2 L1C. Aunque se pretendía usar imágenes de un solo satélite, todas las imágenes tomadas por el satélite Sentinel-2 L2A durante el mes de febrero de 2017 tenían mucha nubosidad sobre el área de interés. Por tanto, se utilizó una imagen del otro satélite para ese año.

La obtención de las imágenes de cada año involucró la descarga de un archivo comprimido que incluía diferentes bandas y resoluciones. Se utilizó el programa ENVI 6.0 para seleccionar las bandas B4 (roja), B3 (verde) y B2 (azul) y así generar imágenes de color verdadero con una resolución espacial de 10 m. Las imágenes ya tenían coordenadas. Se le aplicó una corrección atmosférica utilizando la herramienta de “dark subtraction”. Luego, se realizó un “spatial subset” del área de interés utilizando la herramienta de “resize raster”.

5.2 Clasificación supervisada y no supervisada

Luego de generar las 8 imágenes conteniendo el área de interés, se realizaron clasificaciones supervisadas (Maximum Likelihood) y no supervisadas (IsoData). El algoritmo Maximum Likelihood utiliza estadísticas de probabilidad para asignar cada píxel de la imagen a una clase específica basada en su similitud espectral con las firmas espectrales de entrenamiento. En este estudio se entrenó el clasificador proporcionando muestras de píxeles etiquetados para cada región de interés utilizando la herramienta de ROI en ENVI 6.0. Una vez que el clasificador fue entrenado, asignando las siete regiones de interés o clases, se aplicó a toda la imagen para asignar píxeles a una clase específica. Esto permite mapear la distribución espacial de las diferentes clases y posteriormente poder analizar el área de estudio. Las siete clases asignadas en todas las imágenes fueron; Nubes, de color azul brillante, Río, de color rojo, Ciudad, de color rosa, Vegetación, de color verde, Espuma de mar, de color gris, Arena, de color naranja y Océano, de azul royal.

La clasificación no supervisada se realizó utilizando el algoritmo de Isodata. Este tipo de clasificación no necesita entrenamiento, por lo que como usuarios no tuvimos responsabilidad en las clasificaciones de las imágenes resultantes.

5.3 Medición de la costa

Se midió la longitud de la costa en un lugar específico utilizando las imágenes de 2016 y 2023. Para ello, se colocaron las imágenes una al lado de la otra (*2x2 view*) y se realizó un enlace (“link”) para poder explorar ambas imágenes en las mismas coordenadas al mismo tiempo. Luego, se utilizó la herramienta de Mensuration para medir la longitud de la costa a partir de un punto de la arena expuesta (sin vegetación) en dirección al mar hasta llegar a la línea divisoria del mar y la arena.

5.4 Datos de la marea en la costa norte de Puerto Rico

En adición a las imágenes obtenidas de febrero durante el periodo de 2016 a 2023, se obtuvieron datos de las mareas y sus predicciones. Estos datos fueron obtenidos del portal *Tides and Currents* de NOAA. Cada imagen de predicción y marea estimada fue obtenida tomando en cuenta el día y la hora en que los satélites capturaban las imágenes de Puerto Rico. Las medidas de las mareas fueron obtenidas de una boya en la bahía de San Juan, específicamente en el área de La Puntilla. Esta boya se sitúa aproximadamente a 17.7 millas de distancia de Parcelas Suarez en Loíza. Esta medida fue obtenida utilizando Google Earth Pro.

6. Imágenes

6.1 Área de Parcelas Suárez en Loíza (2016 a 2023)



Imagen 1: Área de Parcelas Suárez en 2016



Imagen 4: Área de Parcelas Suárez en 2019



Imagen 2: Área de Parcelas Suárez en 2017



Imagen 5: Área de Parcelas Suárez en 2020



Imagen 3: Área de Parcelas Suárez en 2018



Imagen 6: Área de Parcelas Suárez en 2021



Imagen 7: Área de Parcelas Suárez en 2022



Imagen 8: Área de Parcelas Suárez en 2023

6.2 Datos de marea en la Bahía de San Juan (2016 a 2023)

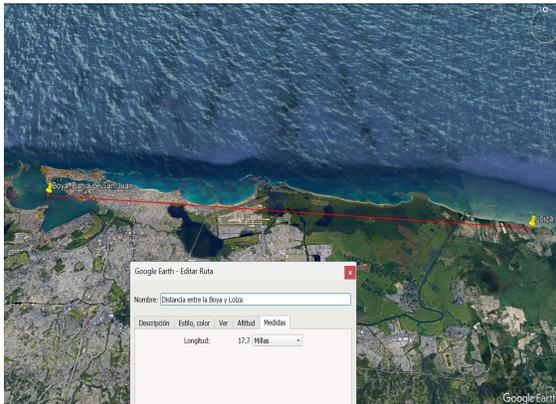


Imagen 9: Distancia entre la boya en la Bahía de San Juan y Loíza (17.7 millas)



Imagen 10: Predicciones y marea estimada de Febrero 2016

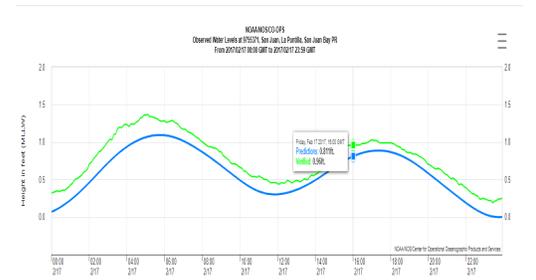


Imagen 11: Predicciones y marea estimada de Febrero 2017

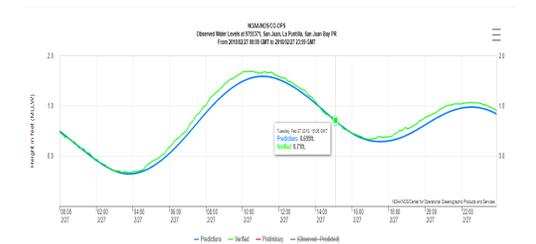


Imagen 12: Predicciones y marea estimada de Febrero 2018

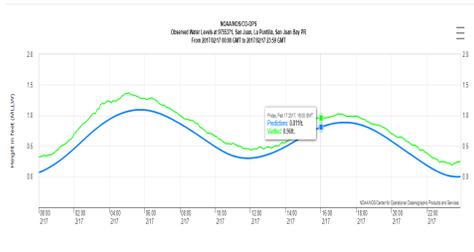


Imagen 13: Predicciones y marea estimada de Febrero 2019

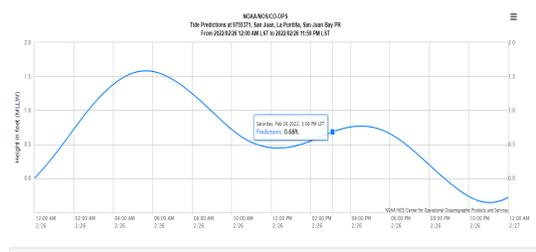


Imagen 16: Predicciones y marea estimada de Febrero 2022

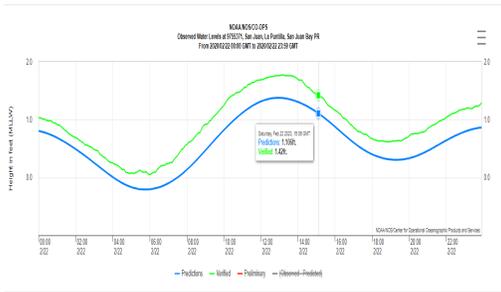


Imagen 14: Predicciones y marea estimada de Febrero 2020

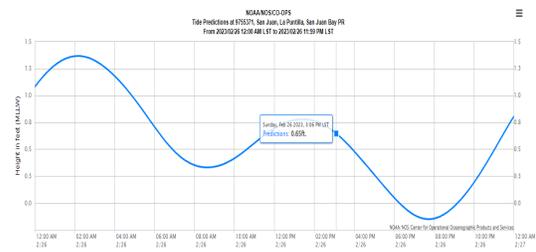


Imagen 17: Predicciones y marea estimada de Febrero 2023

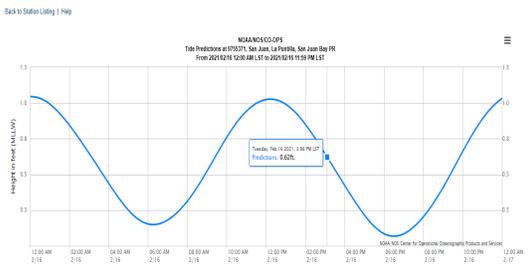


Imagen 15: Predicciones y marea estimada de Febrero 2021

7. Resultados

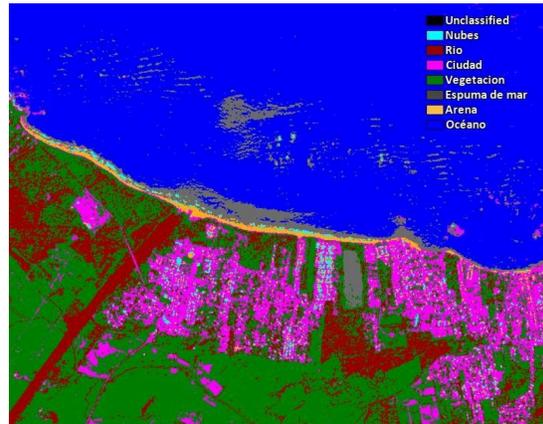


Imagen 18: Maximum Likelihood 2016



Imagen 19: Maximum Likelihood 2017

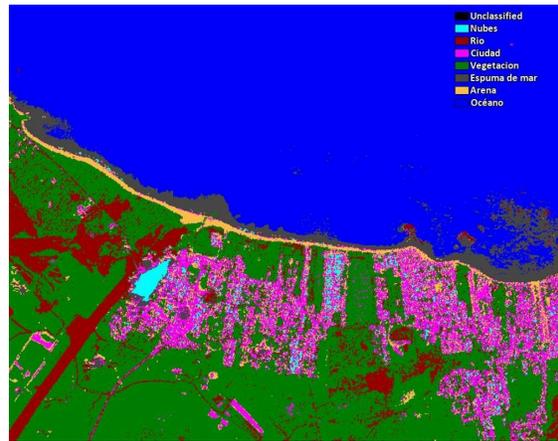


Imagen 22: Maximum Likelihood 2020



Imagen 20: Maximum Likelihood 2018



Imagen 23: Maximum Likelihood 2021

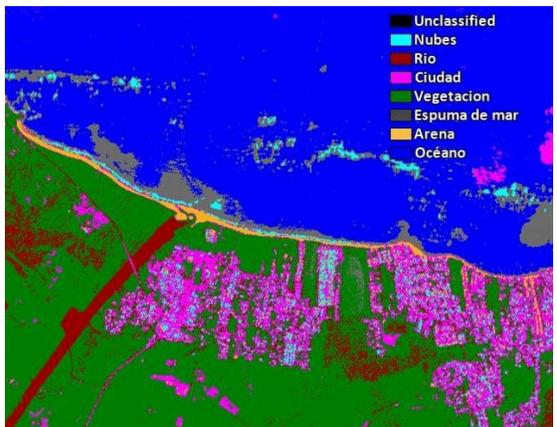


Imagen 21: Maximum Likelihood 2019

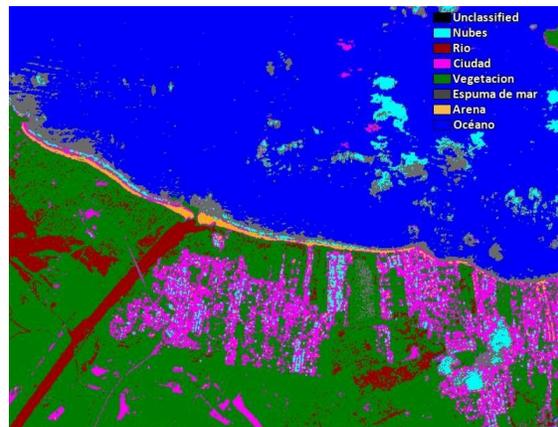


Imagen 24: Maximum Likelihood 2022



Imagen 25: Maximum Likelihood 2023

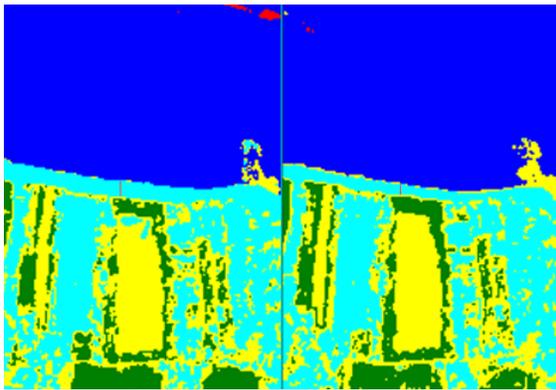


Imagen 26: Isodata (2017 vs 2023)

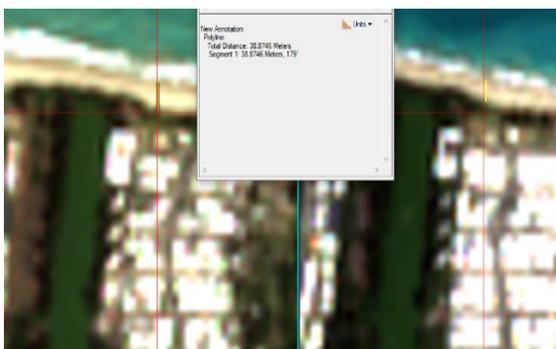


Imagen 27: Mensuration 2016

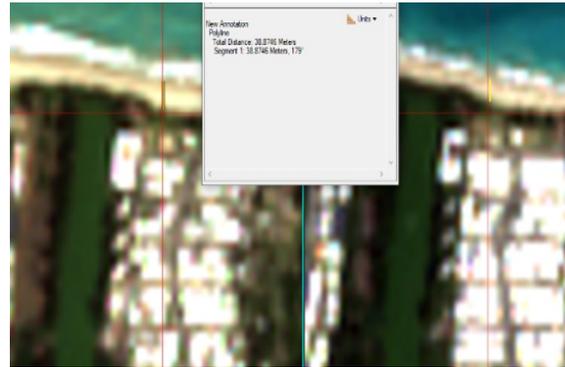


Imagen 28: Mensuration 2023

9. Discusión

La clasificación de Maximum Likelihood reveló patrones espaciales distintivos de erosión costera en el área de estudio. Se identificaron áreas específicas a lo largo de la línea costera que exhibieron una mayor pérdida de tierra, indicativa de procesos erosivos activos. Estas áreas pueden estar asociadas con factores como la exposición al oleaje, la geomorfología local y la presencia de infraestructuras humanas. Al comparar las clasificaciones de diferentes períodos temporales, se observó una evolución temporal en la erosión costera. Se detectaron cambios en la distribución y extensión de las áreas erosionadas, lo que sugiere una dinámica compleja de la erosión a lo largo del tiempo. Además, se tomó en cuenta la data obtenida de la NOAA de Tides and Currents. Esta data demostró un ligero aumento en el nivel del mar a través de los años. A pesar de que el nivel del aumento fue pequeño, era importante mencionarlo ya que estos factores pudieron haber afectado levemente las clasificaciones en ENVI ya que un

nivel de mar en aumento está relacionado con un aumento en la erosión. Es importante tener en cuenta la fiabilidad de los resultados de la clasificación de Maximum Likelihood. Se recomienda realizar validaciones cruzadas utilizando datos de campo y otros métodos independientes para verificar la precisión de la clasificación y mejorar la confianza en los resultados obtenidos.

La clasificación de Isodata no pareció una buena alternativa para hacer comparar cambios en la costa entre las imágenes. Las clasificaciones de los píxeles en las distintas categorías no resultaron muy acertadas.

Finalmente, la medición de la costa obtenida con la herramienta de Mensuration en el lugar seleccionado fue de 38.8 metros para la imagen de 2016. Mientras que la medición obtenida para la misma localización pero en la imagen de 2023 fue de 29.6 metros. Esto representa una disminución de 9.26 metros para el periodo estudiado y una pérdida anual de 1.16 metros.

8. Conclusión

En este estudio, se llevó a cabo una evaluación de la erosión costera en una región específica del municipio de Loíza, utilizando imágenes del satélite Sentinel 2 y herramientas de análisis en el software ENVI 6.0. Los resultados obtenidos indican una pérdida significativa de costa a lo largo del período de estudio, con un promedio anual de 1.16 metros. La aplicación de técnicas de clasificación

supervisada demostró ser más precisa que la clasificación no supervisada para identificar áreas vulnerables a la erosión. Estos hallazgos subrayan la importancia de la monitorización continua de la línea costera mediante tecnologías de teledetección para comprender los cambios en el entorno costero y tomar medidas efectivas para su gestión y conservación. Se recomienda llevar a cabo investigaciones adicionales que integren datos de campo para validar y mejorar la precisión de los resultados obtenidos en este estudio, así como explorar la aplicación de otras técnicas de análisis de imágenes para una evaluación más completa de la erosión costera.

10. Referencias

- Arctic coastline mapping with Sentinel-2 data. (n.d.). NASA/ADS. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020AGUFMC003.0008E/abstract>
- Barreto, M., Tejada, R. M., Cabrera, N., Bonano, V., Díaz, E., Pérez, K., & Castro, A. (2021). El estado de la erosión costera post-huracán María en Puerto Rico. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, (1), 29-40.
- Di Biase, V., & Hanssen, R. F. (2024). Analyzing coastal erosion and sedimentation using Sentinel-1 SAR change detection: An application on the Volta Delta, Ghana. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 27(1), 137-145. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2024.02.003>

Hastuti, A. W., Nagai, M., & Suniada, K. I. (2023). Coastline change detection based on Sentinel-2 imagery data in Jembrana Regency, Bali Province. 2023 Author. <https://doi.org/10.57350/jesa.23>

Nieves Rivera, Jorge (2023). Una costa que se esfuma: la pérdida de playas en Puerto Rico ante el cambio climático. In Estudios Rurales. Publicación Del Centro De Estudios De La Argentina Rural [Journal-article]. Universidad Nacional de Quilmes, Argentina.

<http://portal.amelica.org/ameli/journal/181/1813954024/1813954024.pdf>

Sentinel-2 - Sentinel Online. (2015). Sentinel Online.

<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/copernicus/sentinel-2>