

Erosión de costas en Puerto Rico luego del huracán María: análisis utilizando fotografías aéreas

L. Inglés Serrano, B. Rodríguez Nieves, H. Lorenzo Paulino
Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez
Mayagüez Puerto Rico, 00681

I. Abstract

La erosión costera se detecta comparando imágenes tomadas en distintos momentos del mismo lugar de estudio para analizar la pérdida de costa. El principal motor de la erosión costera es la energía del mar que se refleja a través de la marea, las olas y las corrientes litorales. La erosión costera es un proceso natural que ocurre de manera constante; sin embargo, este está siendo acelerado por las construcciones costeras y la intensificación de fenómenos atmosféricos. Esta aceleración afecta la economía de la isla al afectar viviendas, carreteras, negocios, entre otros. El propósito de este proyecto fue determinar los efectos negativos causados por el Huracán María en la Reserva Marina Arrecife de Isla Verde y la Bahía de Fajardo. Para esto se han utilizado imágenes aéreas del año 2010 y del 24 y 25 de septiembre del 2017. Utilizando varias herramientas de ENVI, “*Environment for Visualizing Images*”, se delinearon las costas y se calculó la diferencia del antes y el después de cada región de interés. Además, se realizaron dos clasificaciones, una no supervisada IsoData y una clasificación supervisada “Maximum Likelihood classification”, con los cuales se identificaron los patrones de anomalías en las costas. Al finalizar el proyecto se logró determinar que el efecto negativo de esta transformación va más allá del daño que el medio ambiente puede sufrir debido a que se afecta la economía, el transporte y el diario vivir de muchas personas.

II. Introducción

Entre las consecuencias negativas ocasionadas por un sistema tropical tenemos las marejadas ciclónicas. Este tipo de marejada puede provocar erosión cuando el oleaje que llega hasta la costa desplaza la arena, rocas, arrecifes y

vegetación que se encuentran en el área. Debido a la pérdida de estos el agua del océano se adentra a tierra perdiéndose áreas de terrenos costeros. También las marejadas pueden causar deposición, esta ocurre cuando sedimentos (rocas, arena, etc.) son depositados por el viento ó el

agua en áreas de la costa agrandando la misma.

El huracán María comenzó a desarrollarse en el océano Atlántico el 16 de septiembre de 2017. Su trayectoria en el sur del hemisferio norte lo llevo a tocar tierra puertorriqueña el 20 de septiembre, como huracán categoría 4 en la escala saffir-simpson causando incalculables daños en toda la isla. Luego de su paso por la isla el huracán continuó moviéndose en hacia el norte disipándose el 30 de septiembre.

Se escogieron dos áreas de estudio la Reserva Marina Arrecife de Isla Verde al norte de Puerto Rico y la bahía de Fajardo en el oeste. La decisión de tomar estos dos lugares como puntos de interés para investigar la erosión de costas luego del huracán Maria es su importancia en el comercio de la isla. La reserva natural justo al norte del mayor aeropuerto de la isla, el Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín. En el caso de la bahía de Fajardo es allí donde se encuentra la actualmente la opción más económica y viable para llegar a las islas municipio Vieques y Culebra. Ambas altamente afectadas por el huracán María.

Las fotografías aéreas del 2017 fueron obtenidas por la division de detección remota de la NOAA utilizando DSS (Trimble Digital Sensor System). Esta división se encarga de la toma de imágenes para apoyar a la Aeronautical Survey Program (ASP), el Coast Mapping Program (CMP) y proveer apoyo después de desastres. De esta base de datos las fotografías aéreas utilizadas para este proyecto son dos fotografías aéreas tomadas el 24 de septiembre (Reserva Marina Arrecife de Isla Verde) y el 25 de septiembre (Bahía de Fajardo). Para comparar la erosión en las costas tenemos imágenes de referencia del 2010 provistas por el profesor Fernando Gilbes Santaella.

III. Datos e información del área de estudio

El huracán María tuvo una trayectoria que influenció en toda la costa del país. Desde que comenzó en la tarde del 19 de septiembre de 2017 las costas del país reaccionaron a las marejadas ciclónicas.

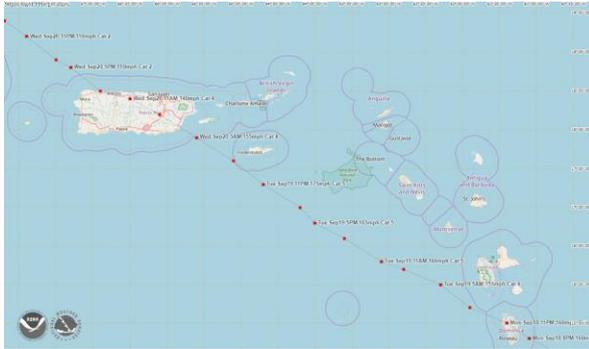


Imagen 1: Trayectoria del huracán Maria sobre la Isla

El Servicio Nacional de Meteorología informó que en la costa de Yabucoa se registraron olas de aproximadamente 6 pies sobre el nivel del mar el día del evento (20 de septiembre) a las 12:00. Cuando el mismo había prevenido olas de 2 pies por encima del nivel del mar para esa zona.

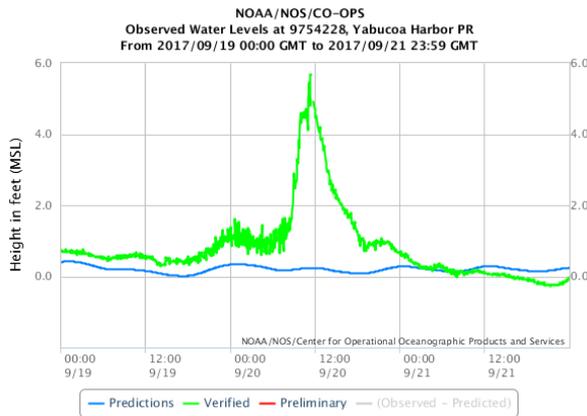


Imagen 2: Oleaje registrado en Yabucoa, PR (donde entró el fenómeno) durante el huracán María sobre la Isla

Los lugares que se tomaron como regiones de interés en nuestro estudio se presentan en las próximas

figuras: la Bahía de Fajardo (18.334406, -65.631221) y la Reserva Marina Arrecife de Isla Verde (18.444095, -66.011817).



Imagen 3: Bahía de Fajardo



Imagen 4: Reserva Marina de Arrecife Isla Verde

En las costas de San Juan el Servicio Nacional de Meteorología de Puerto Rico registró 2.5 pies por encima de los niveles del mar normales (Imagen 5) y en Fajardo la boya que media la altura de estas dejó de transmitir información desde el

puerto (Imagen 6). Asumimos de esta figura 6 que las olas pudieron haber alcanzado más de 2-3 pies por encima de los valores normales de niveles del mar.

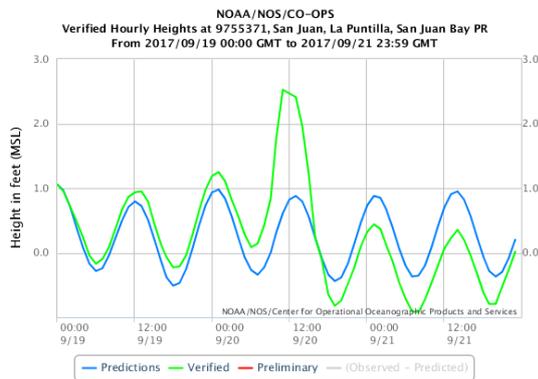


Imagen 5: Oleaje registrado en San Juan, PR durante el huracán María sobre la Isla

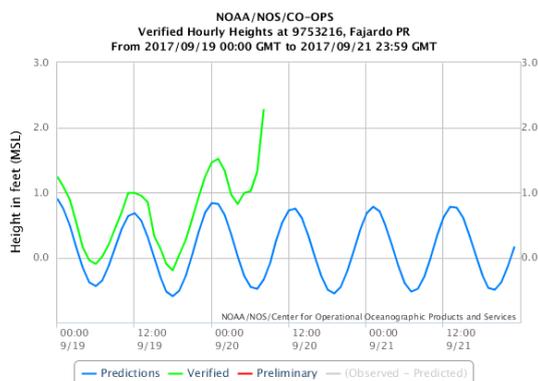


Imagen 6: Oleaje registrado en Fajardo, PR durante el huracán María sobre la Isla

IV. Metodología en ENVI

Luego de tener la información de los días y las regiones de interés procedimos a descargar las fotografías aéreas de la página de internet de la NOAA(<https://storms.ngs.noaa.gov/storms/maria/index.html#13/18.3320/-65.7257>). Se descargaron tres

archivos, dos correspondientes al vuelo del día 24 de septiembre con la región de La Reserva Marina de Isla Verde y uno para la región de la bahía de Fajardo del día 25 de septiembre.

Estos archivos fueron descomprimidos y procesados en el programa de ENVI. A ambas fotografías aéreas se les realizó un corte utilizando regiones de interés para reducir el tamaño de está a solo el área de la costa. Utilizando la herramienta ROI (Region of Interest) se delinea el área de la costa en las cuatro fotografías y utilizando la herramienta de medición se calculó la diferencia entre ambas. Se realizaron dos clasificaciones una no supervisada IsoData y una clasificación supervisada “Maximum Likelihood Classification”. Con los datos resultantes de ambas clasificaciones se pudieron identificar patrones de anomalías en las costas señaladas luego del huracán categoría 4 María.

V. Resultados y Discusión

Para los resultados de la Bahía de Fajardo tenemos las siguientes imágenes, la Imagen 7 muestra el área de estudio que utilizamos en la bahía de Fajardo

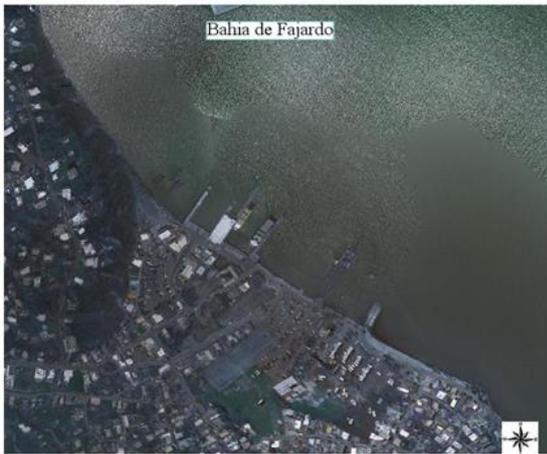


Imagen 7: Fotografías aéreas de la Bahía de Fajardo en el 2010 y 2017

Como se explica en la metodología el primer procesamiento fue una clasificación no-supervisada como se muestra en las Imagenes 8 (2010) y 9 (25 de septiembre de 2017). Estas dos imágenes muestran una representación de varias clases detectadas por el algoritmo. Podemos denotar que para la imagen del 2010 las clases muestran cierto orden, mientras que en la imagen del 2017 se ve la diferencia entre las clases.

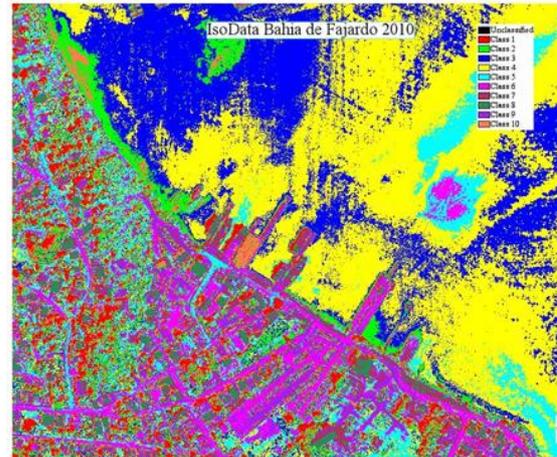


Imagen 8: Isodata de la Bahía de Fajardo en el 2010

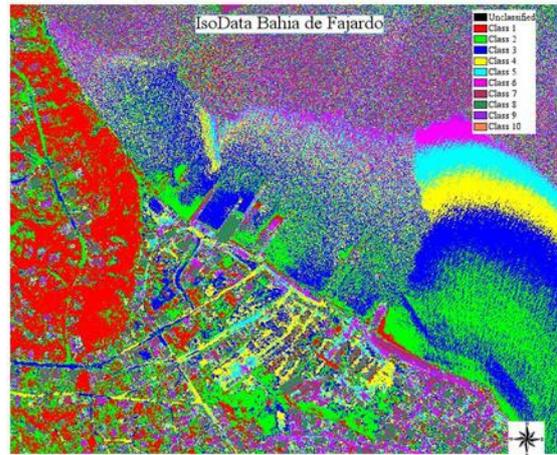


Imagen 9: Isodata de la Bahía de Fajardo en el 2015

El cambio más significativo entre las dos clasificaciones supervisadas Imagenes 10 y 11 fue la disminución drástica de la vegetación en la del 25 de septiembre de 2017. Por la composición física de la bahía de Fajardo, no hubo clasificación de arena ya que no tiene espacios de playa. Por esta misma razón no encontramos una erosión pronunciada en la Bahía de Fajardo.

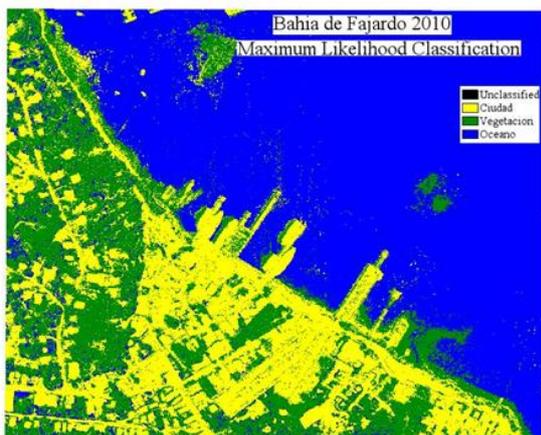


Imagen10: Maximum Likelihood Classification de la Bahía de Fajardo en el 2010

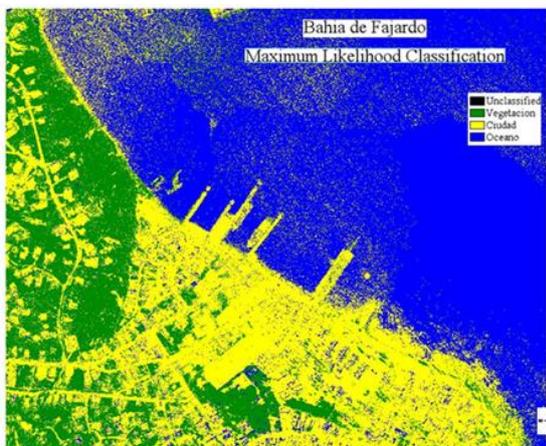


Imagen 11: Maximum Likelihood Classification de la Bahía de Fajardo en el 2015

En la bahía de Fajardo encontramos una disminución de costa de un valor estimado de 3.72 m en 64.54 m de costa como muestra en la Imagen 12.



Imagen 12: Erosión en la Bahía de Fajardo en el 2015

Por el contrario, en otra área de la misma costa encontramos un lugar de deposición de aproximadamente alrededor de 2.12 m en un 83.20 m de costa como muestra en la imagen 13.

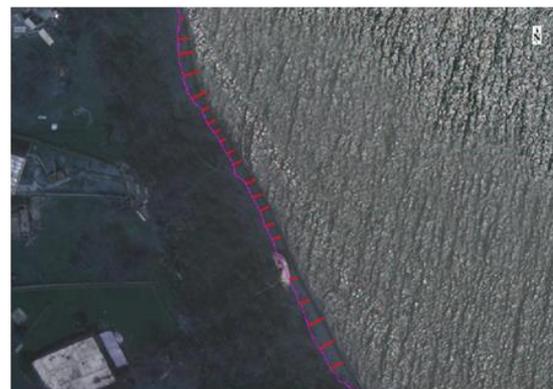


Imagen 13: Deposición en la Bahía de Fajardo en el 2015

Con la Reserva Marina Arrecife de Isla Verde en Carolina obtuvimos otros datos no tan diferentes a estos. En la Imagen 14 se muestra la comparación de las fotografías aéreas del 2010 y del 24 de septiembre de 2017.



Imagen 14: Reserva Marina Arrecife Isla Verde 2010 (superior) y 24 de septiembre de 2017 (inferior).

Al igual que en la Bahía de Fajardo el primer procesamiento fue una clasificación no supervisada (IsoData) como podemos observar en las imágenes 15 y 16. En la imagen del 2010 notamos cierto orden en las clases que el algoritmo detectó, mientras que en la imagen del 2017 una clase muy significativa al borde de toda la costa color violeta claro que podemos inferir que sea la clasificación para arena.

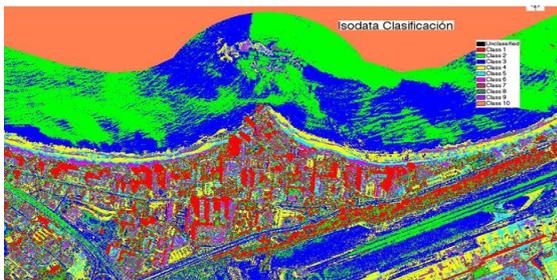


Imagen 15: Reserva Marina Arrecife Isla Verde Isodata 2010

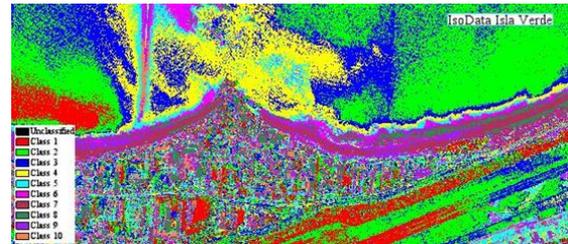


Imagen 16: Reserva Marina Arrecife Isla Verde Isodata 2015

En las imágenes clasificadas utilizamos un área distintas ya había una línea del mosaico de la imagen que afectaba el análisis de esta. Al comparar las dos clasificaciones supervisadas (Imágenes 17 y 18) observamos disminución en la vegetación en la imagen del 24 de septiembre de 2017. Además, observamos el detalle de un incremento en las áreas clasificadas como de arena. Concluimos de esto que la marejada ciclónica fue tan fuerte que las olas entraron más allá de la costa y depositaron arena en las zonas de carretera y viviendas. Para evidenciar lo antes dicho en la figura 19 medimos un área de deposición de 56.8627m (Imagen 20) desde un punto de referencia ambiguo pero útil para estos propósitos de comparación entre dos imágenes del mismo lugar con 7 años de diferencia. Mientras que en la Imagen 21 medimos una distancia de 63.8905m (Imagen 22). Además de medir la distancia en la cual se

encuentra la arena utilizando estas imágenes podemos observar los daños provocados por el huracán en el área.

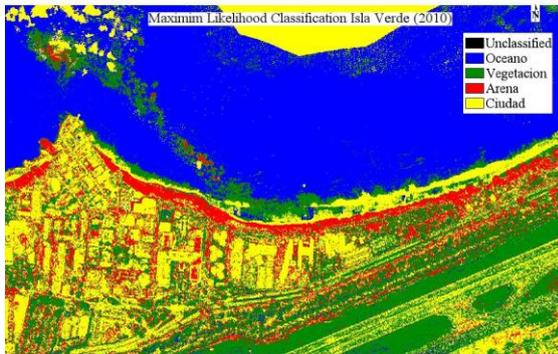


Imagen 17: Maximum Likelihood Classification de la Reserva Marina Arrecife de Isla Verde 2010

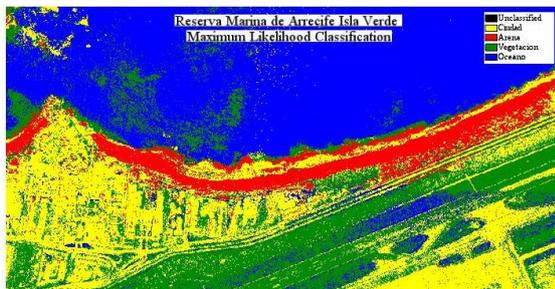


Imagen 18: Maximum Likelihood Classification de la Reserva Marina Arrecife de Isla Verde 2015



Imagen 19: 2010 (superior) y 2017 (inferior)



Imagen 20: Medición de deposición



Imagen 21: 2010 (superior) y 2017 (inferior)

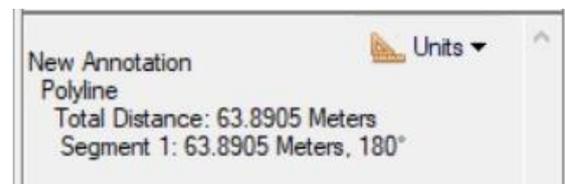


Imagen 22: Medición de deposición

En estas últimas dos imágenes se juzgar visualmente hasta donde llego la arena tras el evento del Huracán.

VI. Conclusión

El fin del proyecto era determinar cómo las costas de Puerto Rico se afectan luego de un Huracán, ya que esto nos afecta grandemente en el comercio, turismo y se perjudica grandemente el ámbito económico y social de la Isla.

Los resultados de los lugares de interés llegaron a ser similares y no tan significativos tras el paso de un Huracán categoría 4 como lo fue María. En los dos casos tenemos las bahías protegidas por su posición geográfica. La bahía de Fajardo está protegida al este con los arrecifes Roncador, Corona Carrillo y Mata Caballos en adición tiene Los callos de la cordillera Nature Reserve. Al igual que en la Reserva Marina de Arrecife Isla Verde que también se encuentra protegida por una cadena de arrecifes al norte de la Isla. Estas barreras de Arrecifes como pudimos notar una de sus aportaciones es proteger las costas de erosiones causadas por los Huracanes. Esta información es de mucha utilidad para el desarrollo económico ya que somos una isla que está rodeada por agua y expuesta a los huracanes cada temporada.

También utilizando las clasificaciones no supervisadas

(IsoData) pudimos observar cómo se dificulta la posibilidad de identificar que es cada clase después del paso del huracán. Mientras que en las imágenes de clasificación supervisada (Maximum Likelihood Classification) observamos la disminución en vegetación un hecho real para toda la Isla luego del Huracán.

VII. Recomendaciones

Con el propósito de mejorar y seguir demostrando los cambios positivos y/o negativos en nuestras costas es importante continuar investigando otros casos alrededor de la isla. Además de hacer comparaciones de las costas antes y después de eventos significantes, como lo fue el del Huracán María; y en el caso de largos periodos sin estos eventos, hacer el mismo estudio cada varios años para determinar lugares susceptibles a mayor pérdida de costa en la Isla. También sería una opción obtener imágenes más recientes para la comparación de los lugares de interés, esto por el cambio constante que sufren nuestras costas.

VIII. Referencias

Ngs.noaa.gov. (2018). *Remote Sensing Division*. [online] Available at: https://www.ngs.noaa.gov/RSD/rsd_home.shtml [Accessed 17 Jan. 2018].

Storms.ngs.noaa.gov. (2018). *Hurricane MARIA Imagery*. [online] Available at: <https://storms.ngs.noaa.gov/storms/maria/index.html#7/18.056/-64.824> [Accessed 17 Jan. 2018].

YouTube. (2018). *Hurricane Maria Damage Assessment*. [online] Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=xFCwFZtaQHE&feature=youtu.be> [Accessed 18 Jan. 2018].

Weather.gov. (2018). *Major Hurricane Maria - September 20, 2017*. [online] Available at: <http://www.weather.gov/sju/maria2017> [Accessed 18 Jan. 2018].

geolsoc.org.uk. (2018) Rock Cycle Processes [online] Available at: <https://www.geolsoc.org.uk/ks3/gsl/education/resources/rockcycle/page3463.html> [Accessed 18 Jan. 2018].

Carranza-Edwards, Arturo. " CAUSAS Y CONSECUENCIAS DE LA EROSIÓN DE PLAYAS CAUSES AND CONSEQUENCES OF BEACH EROSION." *Universidad Nacional Autónoma de México, SCRIBD*, pp. 1–13.

Alvarado León, Gerardo E. "Se Agrava La erosión Costera En Puerto Rico." *El Nuevo Dia*, 22 Apr. 2016, www.elnuevodia.com/noticias/locales/nota/seagravalaerosioncosteraenpuertorico-2190183/.