

Cambios en ríos y lagos tras el paso de las Tormentas Tropicales Isaías y Laura

AMERICA R. GAVIRIA PABON E IDAMIS RODRIGUEZ NAZARIO*

*Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayaguez
Mayaguez, Puerto Rico*

ABSTRACT

En Puerto Rico con el paso de los años se ha observado cómo los eventos de inundaciones se han vuelto cada vez más frecuentes. Las zonas que parecen ser más afectadas son las que están cerca de los cuerpos de agua, pero no podemos descartar las zonas urbanas. Dicho esto, sería interesante conocer los cambios en ríos y lagos tras el paso de fenómenos atmosféricos ya que estos son los que normalmente traen mucha precipitación para la isla. Por tal razón, el paso de la Tormenta Tropical Isaías al igual que la Tormenta Tropical Laura pasaron por el sur de Puerto Rico dejando inundaciones en distintos sectores de la isla. El propósito de este estudio es poder comparar el nivel de agua del río Grande de Añasco luego del paso de la Tormenta Tropical Isaías. También, comparar y contrastar los cambios en el lago de Carraízo durante el paso de la Tormenta Isaías y la Tormenta Laura con ayuda de los satélites Sentinel 1 y Sentinel 2A. Las imágenes se obtuvieron de la base de datos de ESA (European Space Agency) para luego procesarlas utilizando el software ENVI (Environment for Visualizing Images). Se seleccionaron las bandas espectrales específicas para el procesamiento y de esa forma se obtuvo una mejor visualización de los parámetros a estudiar. En general, gracias a las técnicas de percepción remota el estudio fue efectivo para estudiar los niveles del río Grande de Añasco y el lago de Carraízo en Puerto Rico. Palabras Claves: Río Grande de Añasco, Lago de Carraízo, ENVI, ESA, Sentinel 1, Sentinel 2A, Tormenta Tropical Isaías, Tormenta Tropical Laura, Inundaciones.

1. Introducción

Las inundaciones son eventos que ocurren por diferentes factores. Algunas de estas causas pueden ser lluvias torrenciales, diques quebrados o marejada ciclónica debido a fenómenos atmosféricos como las tormentas y huracanes. Tales eventos causan destrucciones y pérdida a la vida y propiedad de las personas. La ubicación geográfica de Puerto Rico permite que la isla sea susceptible a este tipo de eventos. El país cuenta con alrededor de 700 ríos y quebradas. Además, por ser una isla tiene muchas comunidades costeras las cuales pueden verse muy afectadas cuando ocurren estos eventos. Adicional a las comunidades costeras, las comunidades urbanas también sufren las consecuencias cuando los ríos o quebradas salen de su cauce trayendo inundaciones y destrucción a sus hogares.

Durante el año 2020 Puerto Rico experimentó dos eventos grandes de inundaciones causados por la Tormenta Tropical Isaías y la Tormenta Tropical Laura. La Tormenta Tropical Isaías pasó por Puerto Rico entre el 29 al 31 de julio de 2020. Esta tormenta trajo consigo

mucha lluvia, se estima que cayeron alrededor de 3 a 6 pulgadas de lluvia y un promedio de 10 pulgadas de lluvia en regiones aisladas. Estas lluvias provocaron un aumento en el nivel de los ríos donde muchos de ellos se salieron de su cauce provocando inundaciones catastróficas, especialmente, en la región Oeste de la isla. Algunos de estos ríos fueron Río Grande de Manatí, Río Grande de la Plata, Río Grande de Arecibo, Río Grande de Loíza, Río Grande de Añasco, Río Yagüez, Río Hondo y Quebrada Grande. Durante este evento se emitieron alrededor de 31 avisos de inundaciones repentinas y 11 avisos de inundaciones.

La Tormenta Tropical Laura tampoco se quedó atrás ya que se experimentaron condiciones ventosas junto con fuertes aguaceros en todo Puerto Rico. Tras su paso por el sur de Puerto Rico el 22 de agosto de 2020 se registró alrededor de 6 a 8 pulgadas de lluvia en el sur y este. Mientras que para el resto de la isla se registró de 3 a 6 pulgadas de precipitación.

Se han realizado investigaciones previas con el fin de identificar las zonas inundadas tras el paso de eventos de mucha precipitación. Se trata de un evento ocurrido el 15 de mayo de 2018, Turquía especialmente, en el área de Ankara. Este evento causó un sinnúmero de inundaciones.

* *Corresponding author address:* America R. Gaviria Pabon e Idamis Rodriguez Nazario, University of Puerto Rico at Mayaguez
E-mail: america.gaviria@upr.edu, idamis.rodriguez1@upr.edu

Por tal razón, decidieron desarrollar una investigación con ayuda del satélite Sentinel 1 y el sensor SAR (Synthetic Aperture Radar) para conocer el efecto de estas inundaciones en Ankara, Turquía. Las imágenes obtenidas de esta investigación fueron obtenidas de Copernicus Open Access Hub of the European Agency y estas fueron procesadas utilizando SNAP (SeNtinel's Application Platform). SNAP es un programa libre de costo ideal para el procesamiento y análisis de las observaciones del planeta Tierra. Como resultado, la interpretación de las imágenes SAR fue un poco difícil debido a su textura así que decidieron optar por utilizar imágenes del Google Earth para presentar mejor el área de estudio. Por consiguiente, este estudio demostró que el sensor SAR proveyó datos rápidos y efectivos durante el evento de inundación ocurrido el 15 de mayo de 2018 en Ankara, Turquía.

2. Pregunta de Investigación

¿El uso de los satélites Sentinel 1 y Sentinel 2A será efectivo para estudiar las diferencias en los niveles de ríos y lagos en Puerto Rico?

3. Objetivos

Los objetivos principales de este estudio se enfocan en comparar el nivel de agua del Río Grande de Añasco luego del paso de la Tormenta Tropical Isaías por Puerto Rico. De igual manera, comparar y contrastar los cambios en el lago Carraízo durante el paso de las Tormentas Tropicales Isaías y Laura por Puerto Rico.

4. Satélites

Los satélites utilizados en este estudio fueron el Sentinel 1 y el Sentinel 2A. En primer lugar, el satélite Sentinel 1 otorga imágenes del clima durante el día y noche con la capacidad de capturar mediciones de alta resolución y resolución mediana para el terreno, costas y observaciones de glaciares. De igual manera, este satélite trabaja en conjunto con el instrumento C-SAR que otorga con rapidez los resultados de los cambios en elevación gracias a las distintas polarizaciones (HH+HV, VV+VH, VV, HH).

Por otro lado, el satélite Sentinel 2A es manejado por la "European Space Agency" (ESA) y "European Organisation for the Exploration of Meteorological Satellites". Se lanzó al espacio el 26 de julio de 2015. Este satélite cuenta tres resoluciones espaciales: 0.10 m para cuatro bandas, 0.20 m para 3 bandas y 0.60 m para 3 bandas. Su resolución temporal es de diez días. El sensor que este satélite posee es uno Multiespectral y además cuenta con 13 bandas espectrales. Para generar las imágenes el satélite utiliza el sistema de barrido "push-broom". Su

cámara cuenta con dos planos focales, uno en el visible y otro en el infrarrojo. Ambos están equipados con 12 detectores y cuentan con un total de 450,000 píxeles. Este satélite es útil para alertar de contaminación en lagos, ríos y zonas costeras. Además permite analizar las consecuencias de las inundaciones, deslizamientos de terrenos y erupciones volcánicas. El satélite cuenta con dos niveles, el nivel 1C y el nivel 1A. Para propósitos de esta investigación se utilizó el nivel 1C. Las imágenes son ortorectificadas y tienen un nivel de reflectancia por encima del tope de la atmósfera. Esto implica que las imágenes no tienen una corrección atmosférica.

	SENTINEL 2	
	Longitud de onda (µm)	Resolución (m)
Banda 1 - Aerosol	0,43 - 0,45	60
Banda 2 - Blue	0,45 - 0,52	10
Banda 3 - Green	0,54 - 0,57	10
Banda 4 - Red	0,65 - 0,68	10
Banda 5 - Red edge 1	0,69 - 0,71	20
Banda 6 - Red edge 2	0,73 - 0,74	20
Banda 7 - Red edge 3	0,77 - 0,79	20
Banda 8 - Near Infrared (NIR) 1	0,78 - 0,90	10
Banda 8A - Near Infrared (NIR) 2	0,85 - 0,87	20
Banda 9 - Water vapour	0,93 - 0,95	60
Banda 10 - Cirrus	1,36 - 1,39	60
Banda 11 - SWIR 1	1,56 - 1,65	20
Banda 12 - SWIR 2	2,10 - 2,28	20

FIG. 1. Crédito: ESA (European Space Agency)

5. Metodología

Las imágenes utilizadas para la investigación provienen de los satélites Sentinel 1 y Sentinel 2A. Las mismas fueron obtenidas desde la base de datos de ESA a través del servidor Copernicus. Estas imágenes fueron descargadas para poder analizarlas. Se escogieron imágenes de Antes y Después del paso de la Tormenta Tropical Isaías. Las fechas de las mismas fueron el 2 de febrero de 2020 (Antes) y 30 de julio 2020 (Después). De igual manera, se estudiaron imágenes de la Tormenta Tropical Laura que pasó al sur de Puerto Rico el 22 de agosto de 2020.

Cabe destacar que la zona de estudio para el Sentinel 1 es el Lago de Carraízo (18° 18' 15.71"N, 66° 00' 11.38"O), tras el paso de la Tormenta Tropical Isaías y la Tormenta Tropical Laura. Ahora, la zona de estudio para el Sentinel 2A es el Río Grande de Añasco (18°1600N 67°1117O), únicamente tras el paso de la Tormenta Tropical Isaías.

El procesamiento de las imágenes de ambos satélites fue realizado en el software "Environment for Visualizing Images" (ENVI). La banda espectral que se utilizó en el Sentinel 2A fue la banda espectral 8A que se encuentra en la región del infrarrojo cercano (850- 870 nm) y cuenta con una resolución espacial de 0.20 m. Esta banda

permite una mejor visualización de los parámetros que se querían analizar.

A las imágenes de la zona del Río Grande de Añasco se le aplicó una corrección atmosférica utilizando la herramienta de Dark Subtraction. Esto permite que se elimine el porcentaje de atmósfera que contiene la imagen. Luego, utilizando la herramienta de Resize Data que provee el Raster Management, se realizó un corte de la imagen para el área donde se encuentra el Río Grande de Añasco. Luego, con la herramienta de Region of Interest (ROI) se pudo calcular el área del río para el Antes y Después del paso de la Tormenta Tropical Isaías.

Por otro lado, las imágenes que se obtuvieron del Sentinel 1 se tuvieron que rotar 180 grados para poder tenerlas derechas. Esto se logró con la ayuda de ENVI, específicamente en el área del Toolbox, nos dirigimos al folder que dice Raster Management y seleccionamos la opción de Rotate/Flip Data.

Luego, se les aplicó una corrección radiométrica el Dark Subtraction con el fin de remover la atmósfera. Por consiguiente, para corroborar que se realizó de manera correcta la remoción de la atmósfera se utilizó el Cursor Value para estudiar los valores de la imagen que fue corregida y los valores de la imagen original. Por ejemplo, la imagen corregida mostró valores más bajos que los que presentó la imagen original, que tenía valores más altos. Una vez obtenida las imágenes se le añadieron los títulos, Scale Bar, se realizó un corte de la imagen para observar de cerca el área de estudio con la ayuda de la herramienta Resize Data.

6. Resultados y Discusion

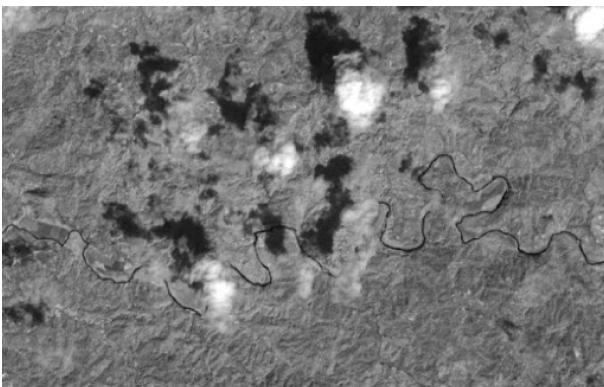


FIG. 2. Muestra una imagen de la banda 8A (infrarrojo cercano) de Sentinel 2A del Río Grande de Añasco antes del paso de la Tormenta Tropical Isaías el 22 de febrero de 2020.



FIG. 3. Muestra una imagen de la banda 8A (infrarrojo cercano) de Sentinel 2A del Río Grande de Añasco luego del paso de la Tormenta Tropical Isaías el 31 de julio de 2020.

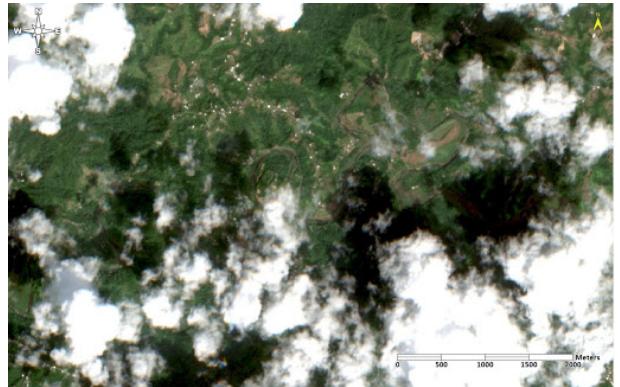


FIG. 4. Muestra una imagen a color verdadero (bandas 2, 3 y 4) de Sentinel 2A del Río Grande de Añasco antes del paso de la Tormenta Tropical Isaías el 22 de febrero de 2020.



FIG. 5. Muestra una imagen a color verdadero (bandas 2,3 y 4) de Sentinel 2A del Río Grande de Añasco luego del paso de la Tormenta Tropical Isaías el 31 de julio de 2020.

Al calcular el área del Río Grande de Añasco Antes y Después del paso de la Tormenta Tropical Isaías se obtuvo

como resultado que para el 22 de febrero de 2020 se encontraron 3,342 píxeles. Mientras, que para el paso de la tormenta, 31 de julio de 2020, el número de píxeles fue de 3,806. En general, el área se tuvo que calcular en píxeles ya que las imágenes no contaban con el tamaño de los píxeles y no permitía cambiar las unidades a metros.

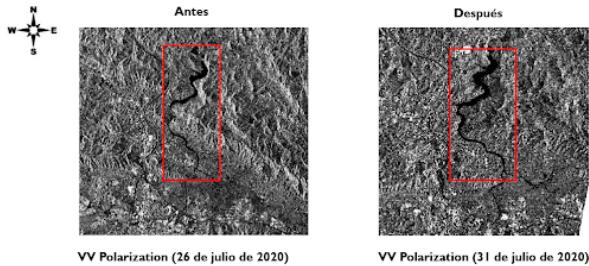


FIG. 6. Lago Carraízo tras el paso de la Tormenta Tropical Isaías.

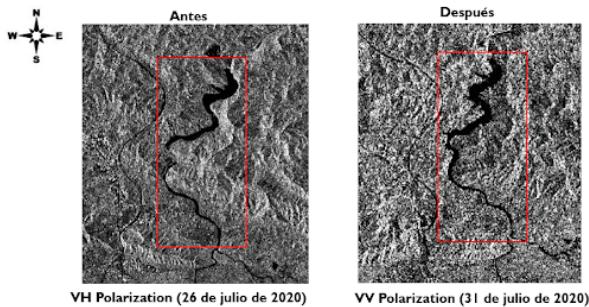


FIG. 7. Lago Carraízo tras el paso de la Tormenta Tropical Isaías.

Las figuras 5 y 6 representan la transmisión vertical de las ondas electromagnéticas y la llegada de las ondas electromagnéticas tanto vertical como horizontalmente hacia el instrumento. De esta manera, podemos distinguir las distintas características de la superficie del suelo que están alrededor del lago de Carraízo. En la imagen de la VV Polarización Después del paso de la Tormenta Tropical Isaías, 31 de julio de 2020, se observó un cambio notable en la expansión del lago. Sin embargo, a pesar que las ondas electromagnéticas viajan hacia el instrumento que pueden ir de manera vertical y horizontal. Esto no implica un gran cambio en la forma del cuerpo de agua ya que cuando se observa la VH Polarización (26 de julio de 2020) y la imagen de VV Polarización (26 de julio de 2020) ambas indican el mismo patrón de la forma del lago antes de ambos eventos atmosféricos. Por consiguiente, estos cambios en polarización no producen ningún cambio visible en los resultados.



FIG. 8. VH Polarización (19 de agosto de 2020) tras el paso de la Tormenta Tropical Laura

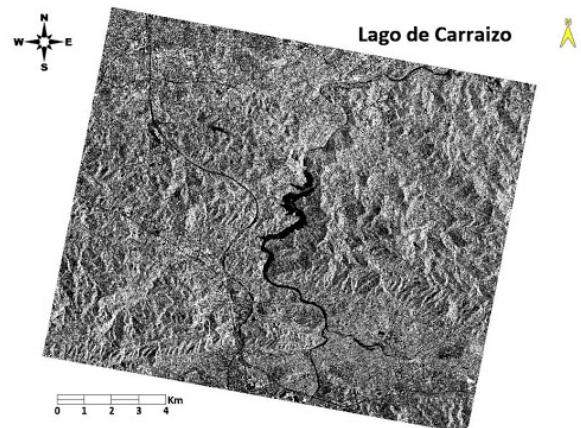


FIG. 9. VH Polarización (24 de agosto de 2020) tras el paso de la Tormenta Tropical Laura

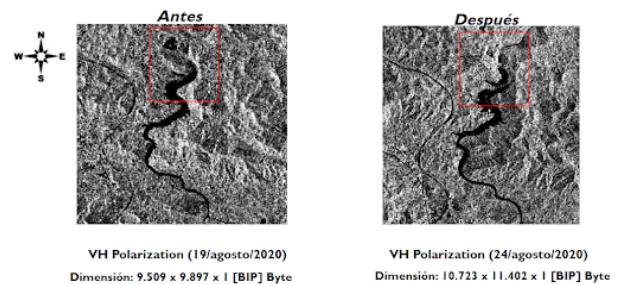


FIG. 10. Se puede observar el resultado de la transmisión y llegada de las ondas electromagnéticas de la polarización VH en la imagen del 19 de agosto de 2020 (Antes) y en la imagen del 24 de agosto de 2020 (Después). En la región de interés se observó como el Lago de Carraízo presentó mayor inundación después del evento y se puede corroborar con las dimensiones de la imagen del antes y después del evento. Se obtuvo las dimensiones con la herramienta Measure en ENVI para medir el área del lago para ambas imágenes de una sola banda que estaba organizada en píxeles.

7. Conclusión

Con las técnicas de percepción remota aplicadas pudimos observar que el Río Grande de Añasco obtuvo una mayor área luego del paso de la Tormenta Tropical Isaías con una diferencia de 464 píxeles por encima del área antes del evento de lluvias. Las imágenes a color verdadero ayudan a visualizar mejor este cambio ya que el Río Grande de Añasco se observa con mayor cantidad de agua y sedimentos luego del paso de la Tormenta Tropical Isaías. De igual manera, se logró observar un cambio en el área del Lago de Carraízo tras el paso de la Tormenta Tropical Isaías y la Tormenta Tropical Laura. Por ejemplo, observando las dimensiones de la (Figura 10) que representa el Antes y Después del paso de la Tormenta Tropical Laura por el sur de Puerto Rico, mostró mayor inundación en el Lago de Carraízo. En general el estudio fue efectivo para estudiar los niveles del Río Grande de Añasco y el Lago de Carraízo en Puerto Rico. Esto gracias a las técnicas de percepción remota utilizadas en el proyecto. Sin embargo, al realizar el trabajo nos encontramos con algunas dificultades tales como la cantidad de nubes en las imágenes, las cuales en ciertas ocasiones hacen que la visibilidad del Río Grande de Añasco no sea la mejor. Además, encontramos una cantidad reducida de imágenes, lo cual limitó el análisis que pudimos hacer en el estudio y el área en la cual queríamos enfocarnos.

8. Recomendaciones

Algunas recomendaciones para el seguimiento de la investigación sería obtener imágenes de las mismas fechas de otros satélites para comparar los niveles de agua de los ríos. Adicionalmente, se podrían analizar imágenes con otras bandas para observar qué resultados se obtendrán. También, poder utilizar la extensión SARscape en ENVI que incluye herramientas fáciles de usar para algunas de las aplicaciones de procesamiento de SAR más comunes.

9. Agradecimientos

Agradecemos al profesor Fernando Gilbes Santaella, Copernicus EO Support Team, Copernicus Open Access Hub y Harris Geospatial Solutions Tech Support por su ayuda y colaboración para esta investigación.

References

European Space Agency (2020) Sentinel-3 - Missions - Sentinel Online. Retrieved from: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-3>

L. Lin et al., "A review of remote sensing in flood assessment," 2016 Fifth International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics), Tianjin, 2016, pp. 1-4, doi: 10.1109/Agro-Geoinformatics.2016.7577655.

Tavus, B., Kocaman, S., Gokceoglu, C., and Nefeslioglu, H. A.: CONSIDERATIONS ON THE USE OF SENTINEL-1 DATA IN FLOOD MAPPING IN URBAN AREAS: ANKARA (TURKEY) 2018 FLOODS, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-5, 575–581, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-5-575-2018>, 2018.