



Cambios en la Morfología de Ríos en el Noreste de Puerto Rico tras el paso del Huracán María

**Yesenia Marie Rivera-López¹⁻²; Lirca Marina Feliciano-Centeno¹⁻³;
Fernando Gilbes Santaella¹⁻⁴**

¹Departamento de Geología

Universidad de Puerto Rico - Mayagüez Campus P.O. Box 9000 Mayagüez, PR 00681-9000

²yesenia.rivera7@upr.edu; ³lirca.feliciano@upr.edu; ⁴fernando.gilbes@upr.edu

ABSTRACT

Luego que el huracán María -de categoría cinco- azotará a la isla de Puerto Rico se observaron varios cambios significativos en la geomorfología, incluyendo una vegetación altamente afectada. La percepción remota multi-espectral se basa en observar y comparar características en diferentes largos de ondas con el fin de tener información a lo largo del espectro electromagnético. Las medidas radiométricas son adquiridas mediante un sensor con la sensibilidad necesaria para detectar contrastes de las distintas tonalidades en los objetos, en este caso utilizando el satélite SENTINEL 2 con el sensor MSI. Mediante el software ENVI se procesaron una composición de imágenes del noroeste de Puerto Rico, especialmente en el Río Grande de Añasco y Río Grande de Arecibo. A través de este proyecto de investigación, como parte del curso GEOL 4048, se presentará un análisis de la cantidad de daños ocasionados. Los índices de vegetación se obtendrán mediante la ejecución de los siguientes cálculos: SR y NDVI. Los resultados obtenidos nos permitieron analizar, referenciar y comparar las características observadas en cada una de las imágenes del antes y después del huracán María.

Keywords: Huracán María, SENTINEL, ENVI, NDVI, SR

INTRODUCCIÓN

Las medidas radiométricas están basadas en las intensidades de luz de los objetos y se obtienen mediante algún método de percepción remota capaz de detectar esos contrastes. La sensibilidad de los sensores, en los instrumentos de percepción remota, va a ser un factor clave para la obtención de medidas certeras. La percepción remota multi-espectral tiene como objetivo observar y comparar características de brillantez en diferentes largos de ondas con el fin de obtener información a lo largo del espectro electromagnético. La combinación de bandas es el término con referencia a la asignación de colores para representar brillantez en las distintas regiones del espectro. La *-mejor-* combinación serán las bandas que mejor que se ajusten al estudio, para cada caso habrá una combinación de bandas *-más-* favorable. El mejor método a utilizarse será determinado en base al área de estudio y lo que se busca obtener en el

resultado. Durante el análisis de imágenes en percepción remota los píxeles son tratados como unidades individuales y están compuestos de valores procedentes de las bandas espectrales.

Existe una interacción con la radiación del infrarrojo-cercano (NIR, *near-infrared*, por sus siglas en inglés) y la región de luz visible (azul-verde-rojo) con respecto a la estructura de las hojas (y por ende la vegetación de una región). Distintos métodos para la obtención de índices de vegetación pueden ser utilizados, entre éstos: NIR a *Red-Simple-Ratio* (SR) y *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). SR fue el primer índice de vegetación desarrollado; el mismo utiliza la relación inversa entre la absorción de la clorofila y el incremento en la reflectancia NIR. El NDVI provee un método de estimación de la producción de distintos biomas conjunto a otras variables y patrones. (Campbell and Wynne, 2011; Yacoubian, 2015).

Para este proyecto nos hicimos la siguiente pregunta: *¿Cómo un evento especial (e.g. Huracán María) afecta la morfología de un río (e.g. creación de oxbow lake) y qué cambios se pueden observar en la vegetación cercana al mismo?* Tomamos dos ríos principales de la sección noroeste de Puerto Rico para hacer nuestro estudio, los cuales fueron el Río Grande de Añasco y el Río Grande de Arecibo. Nos concentramos en observar cambios en los meandros, inundaciones en los deltas, crecimiento de los ríos y vegetación.

OBJETIVOS

Durante el proyecto se procesarán imágenes utilizando los métodos para determinar índices de vegetación con la utilización de varias herramientas disponibles en ENVI. A su vez se generarán imágenes con la combinación de distintas bandas para resaltar las observaciones de los cambios. Las imágenes generadas se analizarán y compararán entre sí, para

analizar los cambios del antes y después del paso del huracán María por la isla.

Objetivos Principales:

1. Identificar cambios en los cauces del Río Grande de Añasco y Arecibo.
2. Hacer una evaluación cualitativa de los cambios, con un antes y un después del paso del huracán María.
3. Crear una evaluación cuantitativa por medios de análisis estadísticos para conocer el cambio en el cauce de los ríos.

METODOLOGÍA

Se descargaron datos del satélite polar SENTINEL – 2 *Multi-Spectral Instrument* (MSI). SENTINEL – 2 MSI, consiste en dos satélites polares a una altitud de 786 kilómetros con la capacidad de obtener datos sobre la superficie terrestre. La adquisición de las imágenes se dio mediante la plataforma de Google Earth Engine, la cual permite una visualización de *data-sets*. Con la utilización del software ENVI (*ENVironment for*

Visualizing Images) se procesaron las imágenes previamente descargadas.

Fases Principales:

1. Obtención de datos.
2. Identificar los ríos. Definir cauces vs. la vegetación para observar la morfología [antes y después del paso del Huracán María].
3. Mediciones sobre dimensiones del largo del río. Puntualizar y contabilizar las nuevas características.
4. Comparaciones antes y después; establecer resultados.

Obtención de Datos:

Inicialmente nos interesaba trabajar con los sensores del satélite LANDSAT 8 y las imágenes tras el paso del huracán María tomadas por FEMA. La resolución de LANDSAT 8 no era suficiente para el trabajo que se deseaba realizar. En el período de conseguir imágenes con una mayor resolución, se escogió trabajar con el satélite SENTINEL - 2 conjunto a su sensor MSI.

Las imágenes que se obtuvieron contenían muchas nubes, por lo que resultaba difícil observar los detalles de los ríos y del terreno. Utilizando la herramienta en-línea de Google Earth Engine se creó una composición de imágenes para el *antes* del huracán María, que contaba con imágenes de todo Puerto Rico. También, se realizó una composición para después del paso del huracán María. Luego de esto, la remoción de nubes aún no era suficiente. Para obtener una remoción de la atmósfera eficiente se procedió a aplicar un algoritmo que hiciera una corrección de nubes particular para el sensor MSI. El algoritmo se modificó a partir de la documentación provista por Google Earth Engine y otros usuarios de la plataforma.

Composición de Imágenes [Fechas]

Antes

Julio 1 – Septiembre 18, 2017

Después

Septiembre 21 – Noviembre 15, 2017

Identificación de Ríos:

Se identificaron dos ríos en la sección noroeste de Puerto Rico que resaltaran significativamente en las imágenes del post-María. Las dos imágenes, resultado de las composiciones y remoción de nubes, fueron trabajadas en el software ENVI. Una vez abierto el software, se realizó un *sub-set* para cada río y se le aplicó la herramienta de *Dark Substraction* con *Band Minimum*. Debido a que era una composición, la diferencia entre el antes y después no fue tan significativa.

Pasos a seguir:

- i. Una vez en ENVI, se procederá a abrir la composición de imágenes correspondiente a los datos del Río Grande de Añasco.
- ii. Se le aplicará una corrección atmosférica a la imagen. Se utilizará el método de *Dark Substraction* con *Band Minimum*.
- iii. A la imagen corregida atmosféricamente se le calculará el NDVI utilizando la herramienta en

ENVI. NDVI utiliza la siguiente fórmula en su rutina de ENVI:

$$NDVI = \frac{NIR - red}{NIR + red}$$

A la misma se le añadirán los colores amarillo y verde (*CB-YIGR*), haciendo un cambio en la paleta de colores.

- iv. En este paso se procederá a crear una máscara para los valores en el rango entre 0 y 1, utilizando la imagen generada del cálculo de NDVI.
Toolbox → Raster Management → Masking → Build Mask
Min 0 || Max 1
- v. Luego, se aplicará la máscara -previamente creada- a la misma imagen de NDVI.
Toolbox → Raster Management → Masking → Apply Mask
- vi. Mediante la computación de estadísticas *Quick Stats* para la imagen de NDVI podemos conocer el valor máximo de los valores en los píxeles tierra. Con la herramienta de *Cursor*

Value, se identificará el valor mínimo en la imagen para los datos de tierra.

vii. Ahora, se creará una segunda máscara para los valores de agua en la imagen. En este paso deberás **utilizar la imagen corregida atmosféricamente**. Ver paso **iv**. En esta ocasión utilizaremos el rango de valores obtenidos e utilizaremos sólo una banda en el *Spectral Subset* (banda ocho, NIR).

viii. Procederemos a aplicar la máscara creada en el paso anterior (ver **vii**). En esta ocasión utilizaremos la imagen generada en el paso **v**.

Nota: Recuerda guardar tus productos con un nombre **claro y con referencia** al paso en marcha. Los pasos **iv** al **viii** tienden a ser los más arduos.

ix. A la última imagen generada, se le cambiarán los colores utilizando *Green/White linear* en la paleta de colores.

x. Finalmente, a la imagen se le añadirá una escala de color. Se procederá a guardar la imagen en formato jpeg.

xi. Ahora se procederá a crear una imagen para SR.

Es necesario establecer la ecuación que utiliza este método de índice de vegetación.

La fórmula para SR es la siguiente:

$$SR = \frac{NIR}{red}$$

Para crear la ecuación en ENVI:

Toolbox* → *Band Algebra* → *Band Math* → *Enter an Expression

$$(float(b1))/(float(b2))$$

Las variables corresponderán a las bandas de la imagen, las cuales serán definidas como:

b1 = band 8 (NIR)

b2 = band 3 (red)

xii. Ir a ***Toolbox* → *Raster Management* → *Masking* → *Apply Mask***, y aplicar la primera máscara creada (ver paso **v**).

- xiii. Luego a esa imagen generada aplicarle la **segunda** máscara creada (ver paso **vii**).
- xiv. Repetir pasos **ix** y **x**.
- xv. Repetir pasos, utilizando los datos de composición de imágenes del **Río Grande de Arecibo**.

Mediciones y Comparaciones:

Uno de nuestros objetivos era medir el por ciento de cambio en los ríos. Utilizado la herramienta de *Mensuration* que provee ENVI, conjunto a la imagen generada con la banda infrarroja, verde y azul medimos el largo de ambos ríos. Se obtuvo una medición desde la costa (desembocadura de los ríos) hasta la división en donde se convierte en ríos tributarios (Añasco) o en un embalse (Arecibo). Luego de ello, se identificaron las nuevas características desarrolladas post-María, a lo largo y a lo ancho de los ríos. Una vez identificadas, se midió el largo de cada una de las características nuevas. Todos los cambios se fueron sumando y se dividieron

entre el largo total de cada río antes del huracán María. El resultado se multiplicó por 100, para así obtener el por ciento de cambio para cada río.

RESULTADOS

En esta sección, se mostrarán las imágenes generadas para cada uno de los índices de vegetación ejecutados en ENVI; para las imágenes adquiridas de SENTINEL-2 MSI mediante la plataforma de Google Earth Engine. Además, se incluirá las imágenes con distintas combinaciones de bandas.

Río Grande de Añasco

Composición con Corrección Atmosférica

[Antes y Después]



Figura 1. Imagen de colores reales con corrección atmosférica; con la asignación de las bandas: azul, verde y roja. La imagen superior presenta el *antes*, el río no es visualmente notable. En la imagen posterior se muestra el *después*, donde se puede apreciar claramente el río.

Composición con Corrección Atmosférica de Colores Falsos

[Antes y Después]

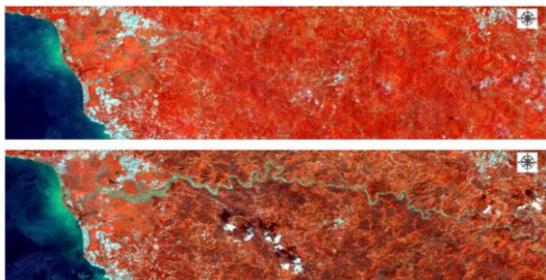


Figura 2. Imagen con colores falsos, se utilizaron las bandas infrarroja, verde y azul. La imagen superior representa en *antes* y la posterior el *después*, se puede observar claramente una gran cantidad de sedimentos a lo largo del río.

Índices de Vegetación NDVI y SR [Antes]

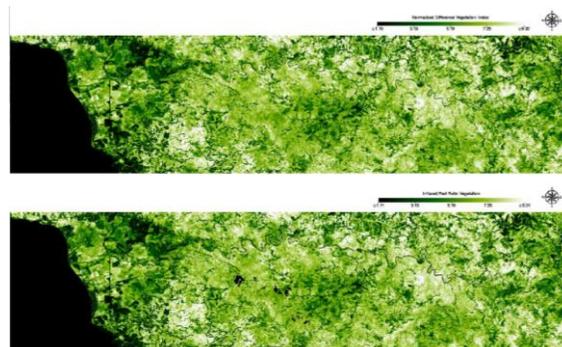


Figura 3. Estas imágenes muestran índices de vegetación mediante los cálculos de NDVI (superior) y SR (posterior) con referencia al antes del huracán María.

Índices de Vegetación NDVI y SR

[Después]

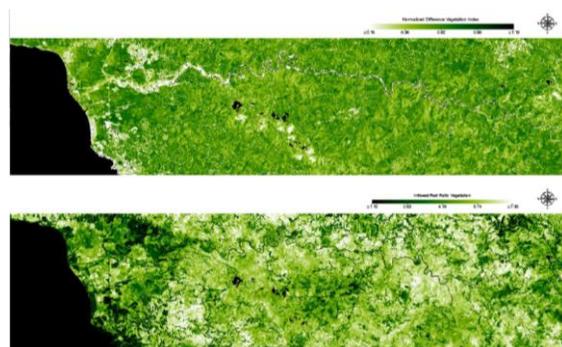


Figura 4. Índices de vegetación mediante los cálculos de NDVI (superior) y SR (posterior).

Río Grande de Arecibo

Composición con Corrección Atmosférica

[Antes y Después]



Figura 5. Imagen con colores reales y corrección atmosférica. Asignación de las bandas: azul, verde y roja. *Antes* (izquierda) y el *después* (derecha), donde el río es considerablemente notable.

Composición con Corrección Atmosférica de Colores Falsos

[Antes y Después]

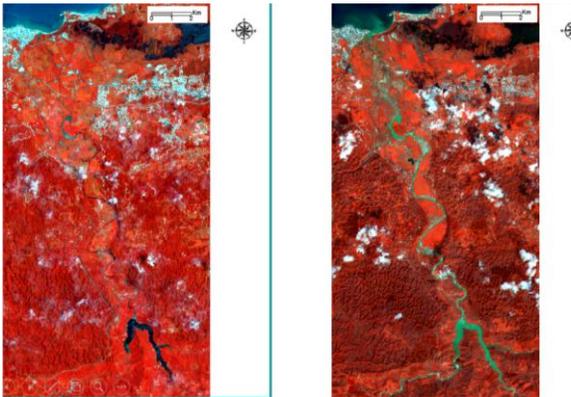


Figura 6. Se muestra una imagen con colores falsos, bandas: infrarroja, verde y azul. La imagen en la izquierda representa el *antes* y la de la derecha el *después*,

se observa una gran cantidad de sedimentos.

Índices de Vegetación NDVI y SR

[Antes]

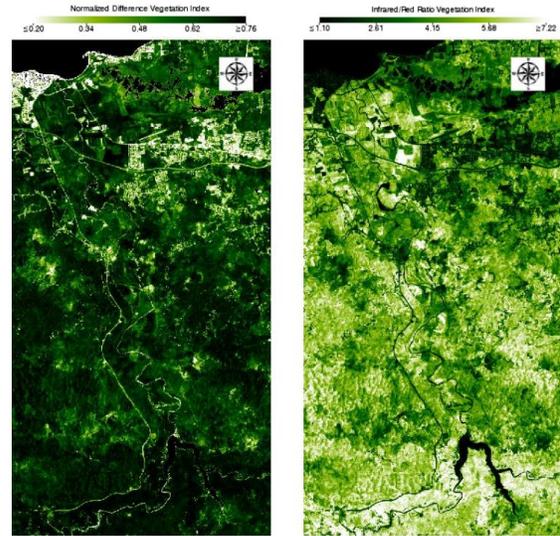


Figura 7. Índices de vegetación, cálculos de NDVI (izquierda) y SR (derecha).

Índices de Vegetación NDVI y SR

[Después]

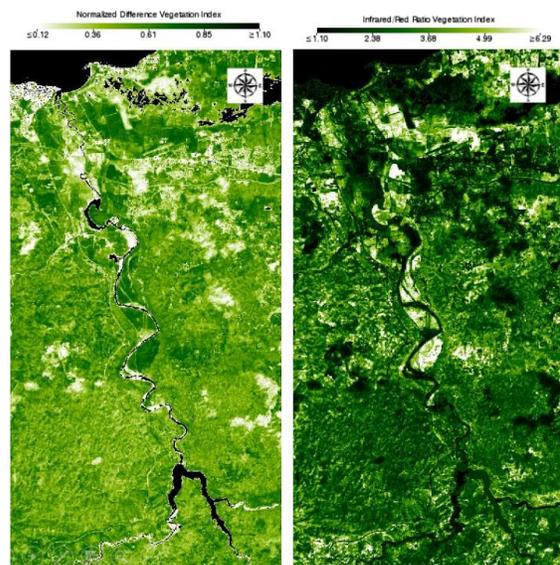


Figura 8. Índices de vegetación mediante los cálculos de NDVI (izquierda) y SR (derecha).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos, se observaron, analizaron y referenciaron para establecer comparaciones entre las imágenes generadas. Las imágenes de índices de vegetación tienen una escala de color con distintas tonalidades del color verde. Podemos decir que el índice de vegetación de SR produce una precisión mayor en las características de la imagen vs. NDVI. Estos resultados se pueden atribuir a la fórmula que cada uno de los métodos utiliza.

Con relación a los datos cuantitativos, el Río Grande de Añasco presentó un 63 por ciento de cambio y Arecibo obtuvo un 12 por ciento. Se observó a su vez, que las partes altas de los ríos presentaron un cambio mayor en la cantidad de sedimentos depositados. Mientras que las partes más bajas, cercanas a la desembocadura, exhibieron cambios

drásticos por medio de las inundaciones en las áreas; hubo niveles freáticos más altos.

TRABAJO FUTURO Y

RECOMENDACIONES

Es necesario diseñar parámetros más definidos para las diferencias entre cada uno de los ríos, en su antes y después del huracán María. Se deben adaptar cuantificaciones para las naturalezas del evento.

Como una segunda fase del proyecto, se deberá buscar información sobre las razones por las cuales los por cientos de cambios fueron tan amplias entre los ríos en estudio.

REFERENCIAS

Campbell, J. B. and Wynne, R. H., 2011.

Introduction to Remote Sensing, 5th edition. The Guilford Press, New York, 667 p.

Yacoubian, A., 2015. Optics Essentials: An

Interdisciplinary Guide. CRC Press, Taylor & Francis Group, Florida, 219 p.