



Universidad de Puerto Rico

Recinto de Mayagüez

Trabajo Final:

**Índice de Vegetación NDVI del Bosque Nacional El Yunque de Puerto Rico antes y después
de María.**

Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica Aplicado a la Biología

BIOL: 5038

Profesor: Dr. Fernando Gilbes Santaella

Estudiante: Rosemarie Casiano Matos

RESUMEN

Los huracanes son fenómenos naturales de gran impacto en los países. Cuando ocurre un huracán se conoce que afecta mayor mente la densidad de vegetación del lugar donde este fenómeno transita. La vegetación constituye uno de los componentes de naturales de mayor importancia para el medio ambiente. Por un lado, se trata de un recurso con un valor intrínseco (agricultura, montes, bosques). La cobertura de la vegetación es importante para el mantenimiento de otros recursos (Fauna, suelos y ecosistemas). Los bosques cuando experimentan un proceso de recuperación bajo este estrés natural. El estudio remoto se ha convertido en una herramienta de detección y análisis de cambios temporales en la vegetación utilizando lo que conocemos como NDVI. El procesamiento de NDVI detecta las respuestas de reflectancia que exhibe el color verde del dosel en plantas vivientes y las traduce en valores de índice de vegetación (Campbell, 2010). Estos valores son utilizados para ejercer una comparación entre píxeles del área de interés geográfico y luego desarrollar asunciones relacionadas a las consecuencias inmediatas del desastre (Campbell, 2010). Este proyecto mostrará un enfoque entre del Bosque Nacional El Yunque localizado en el área noreste del Puerto Rico, se mostrarán los cambios en densidad vegetación a causa del huracán María.

Tabla de Contenido

RESUMEN	2
1. INTRODUCCIÓN	4
2. PREGUNTA CIENTÍFICA	8
3. OBJETIVOS	9
4. METODOLOGÍA.....	10
5. Datos y Resultados:.....	11
5.1 Tablas.....	11
5.2 Graficas.....	13
5.3 Imágenes	14
6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	18
7. PROYECCIONES:	21
8. CONCLUSIÓN	23
9. RECOMENDACIONES.....	24
10. REFERENCIAS.....	26

1. Introducción:

La temporada de huracanes del Atlántico de 2017 fue un récord: hubo tormentas de categorías 3 a 5 que causaron grandes destrucciones en zonas del Caribe, EE. UU. y México. Si bien el daño al entorno construido es bastante fácil de evaluar, el daño a las áreas y a las especies conservadas es más difícil de determinar. El 20 de septiembre de 2017, el huracán María atravesó Puerto Rico con vientos de hasta 155 millas por hora y lluvias torrenciales que inundaron las ciudades, destruyeron las redes de comunicaciones y destruyeron la red eléctrica. En las escarpadas montañas centrales y el exuberante noreste, María desató su furia mientras los feroces vientos deshojaban por completo los bosques tropicales y rompían y arrancaban los árboles. Las fuertes lluvias provocaron miles de deslizamientos de tierra que segaron sobre franjas de laderas empinadas. El huracán rompió o desarraigó el 60 por ciento de los árboles en el área de Arecibo. En el noreste, en las laderas del Bosque Nacional El Yunque, el huracán cortó los bosques, reduciendo su altura promedio en un tercio. El huracán provocó que las corrientes de las montañas se inundaran y se llenaran de sedimentos que finalmente fluyeron hacia el océano. El sedimento puede tener un impacto negativo en la calidad del agua potable, así como en las comunidades de coral de las que dependen las pesquerías tanto para la subsistencia como para el comercio.

Un análisis satelital reciente muestra cómo María cambió por completo el paisaje natural de la isla. El Bosque Nacional El Yunque, el único bosque tropical nacional de Estados Unidos, sufrió tantos cambios que es difícil reconocerlo: se perdieron hojas, había ramas rotas y árboles derribados. La transformación de un verde brillante a un marrón árido es fácil de ver en imágenes tomadas a distancia que muestran las 11 500 hectáreas (28 400 acres) de la reserva, así como en los primeros planos de alta resolución de zonas más pequeñas en donde es posible ver las delgadas líneas de árboles caídos. (Salisbury, 2018). El único bosque pluvial tropical dentro del Sistema de

Bosques Nacionales de los Estados Unidos. Tiene un ecosistema que se encuentra en sus escarpadas montañas, llamado el Bosque de Nubes el cual está localizado sobre los 2,500 pies sobre el nivel del mar. Este es un fenómeno único, que representa poco menos del 2% del área total de El Yunque y se encuentra en los picos más altos de las montañas. Por su elevación, y por lo difícil de llegar a él, aproximadamente el 83% del Bosque de Nubes aún permanece sin perturbar (FS. USDA, 2021) (Véase imágenes 4-6).

Las concentraciones de nitrato en el Yunque aumentaron a niveles sin precedentes luego del paso del huracán María, según el panel Puerto Rico un año después: la huella duradera del huracán María, compuesto por varios científicos y profesores universitarios que presentaron los hallazgos de varias investigaciones en la conferencia anual de la Unión Americana de Geofísica en la capital federal. (Copyright 2009 - 2019 Metro International, 2018). La lluvia abundante es resultante primordial de procesos orográficos ocasionados por el movimiento de aire húmedo desde el océano hacia la Sierra de Luquillo. En su ascenso por las laderas noreste de El Yunque, la humedad se condensa resultando en lluvias abundantes la mayor parte del año. La elevación del Yunque disminuye la temperatura en el terreno, lo que promueve condensación directa de parte de la humedad en las nubes al hacer contacto con la vegetación y los suelos del área. Vaguadas, temporales y huracanes periódicos proveen lluvias de gran magnitud en tiempos cortos que contribuyen a que El Yunque sea la zona más lluviosa en Puerto Rico. (Quiñones, 2021).

En esta investigación fue utilizado como estudio el área costera de Arecibo (Impacto del Huracán María en Arecibo, Puerto Rico). En el mismo se analizó la densidad en vegetación, las estructuras, los efectos de la marejada ciclónica y el nivel de sedimentos suspendidos al océano. Utilizaron los programas ArcMap 10.5 y ENVI 5.4 (64-bit) para procesar fotografías aéreas tomadas por FEMA el 23 de septiembre de 2017 y se compararon con fotografías aéreas del 2010.

Concluyeron que los daños y cambios fueron evidentes y la densidad en vegetación en el área del río descendió un 0.0483 del promedio según el Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Utilizaron la herramienta Measure donde obtuvieron una diferencia en la longitud de la desembocadura del Río Grande de Arecibo de 140.3 m debido a su crecimiento, lo que causó a su vez, que la costa tuviera una disminución en longitud de 24.2 m.

En el proyecto Índice de Vegetación de Bosques Estatales del Oeste de Puerto Rico antes y después del huracán María, se utilizó imágenes del satélite Sentinel-2 dentro de rangos de fechas representativas del evento. Sus imágenes fueron corregidas radiométricamente y procesadas bajo el algoritmo de NDVI, que mostrará resultados dentro del rango de valores de -1 a 1 (Ecuación 1) (Pettorelli, 2013). Las bandas espectrales utilizadas en su ecuación fueron la roja e infrarroja cercana. El interés del proyecto fue en el análisis de valores espectrales que exhiben los píxeles de la vegetación. Se encontraron cambios en la densidad de vegetación de los bosques Cambalache, Río Abajo y Guilarte los cuales se pueden medir cualitativamente utilizando métodos de percepción remota y NDVI.

Para este estudio se utilizó El Bosque Nacional El Yunque es un parque nacional localizado en Puerto Rico y es el único bosque lluvioso tropical en el sistema nacional de bosques de los Estados Unidos. Es uno de los lugares conocidos más lluviosos del mundo. El Yunque es un bosque pluvial semitropical de temperaturas frescas, localizado en la Sierra de Luquillo al este de Puerto Rico. Comprende 113,32 km². En esta investigación se utilizó el método de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), se utiliza para predecir la producción agrícola, a predecir áreas en proceso de desertación, predecir zonas de incendios, vigilancia de sequías y monitoreo de daños causados por la deforestación, entre otros. Sus aplicaciones facilitan todo tipo de tratamiento de campo como: el riego, aplicación de fertilizantes, crecimiento de las plantas; pero el más preferido

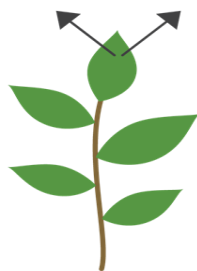
es el seguimiento global de la vegetación. Este índice ayuda a compensar cambios en las condiciones de iluminación, la pendiente de la superficie sobre la cual se asientan las plantas, exposiciones y otros factores externos (EOS Data Analytics, Inc., 2021). En su fórmula, la densidad de la vegetación (NDVI) en un punto determinado de la imagen es igual a la diferencia en las intensidades de la luz reflejada en el rango rojo e infrarrojo dividido por la suma de estas intensidades. Su índice define valores de -1.0 a 1.0, donde sus valores negativos están formados en general por nubes, agua y nieve, y los valores negativos cercanos a cero están formados por rocas y suelo descubierto. Los valores muy pequeños (0,1 o menos) de la función NDVI corresponden a áreas sin rocas, arena o nieve. Los valores moderados (de 0,2 a 0,3) representan arbustos y praderas, mientras que los valores grandes (de 0,6 a 0,8) indican bosques templados y tropicales (EOS Data Analytics, Inc., 2021). El NDVI se calcula con la siguiente fórmula:

NIR – Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano

RED – Espectroscopía de Reflectancia de la parte Roja Visible

HEALTHY
VEGETATION REFLECTANCE

50% NIR 8% RED



NDVI = 0.72

STRESSED
VEGETATION REFLECTANCE

40% NIR 30% RED



NDVI = 0.14

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$$

This Photo by Unknown Author is licensed under CC BY-SA-NC

2. Pregunta Científica:

¿Los índices de vegetación NDVI derivados de imágenes satelitales Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1, permitirán diferenciar las distintas coberturas vegetales y estimar su calidad antes y después del paso del huracán María?

3. Objetivos

- El objetivo principal de esta investigación fue estimar y analizar el índice de vegetación de la región del Bosque Nacional El Yunque de Puerto Rico antes y después de María utilizando Arc Map.
- Se identificó los cambios de vegetación antes y posterior del Huracán María del Bosque Nacional El Yunque de Puerto Rico.
- Se procesó imágenes usando el satélite OLI de Puerto Rico recolectado antes y después del huracán María, que afectó a la isla el 20 de septiembre de 2017 y dos años después del Huracán María.
- Por medio de ecuaciones se realizó cálculos de índice de vegetación: NDVI para comparar valores.

4. Metodología:

Este proyecto se utilizó imágenes del satélite OLI dentro de rangos de fechas: 25 de septiembre de 2017 y después del evento el 26 de septiembre de 2017. Estas fueron corregidas radiométricamente y procesadas bajo el algoritmo de NDVI, que mostró resultados dentro del rango de valores de -1 a 1. Las bandas espectrales usadas en esta ecuación fueron la roja e infrarroja cercana, dado que el interés del proyecto recae en el análisis de valores espectrales que exhiben los píxeles de la vegetación (Pettorelli, 2013). Esto provoca que el rango se tenga que limitar a solo valores positivos; es decir, que solo se considera el rango de 0 al 1 (Pettorelli, 2013). Por consiguiente, evitamos los números negativos creando una máscara que logra omitirlos dentro de la imagen. La aplicación de la máscara tuvo la finalidad de omitir píxeles que representan cuerpos de agua del lugar para que no afecten los valores deseados. Se realizó una comparación cualitativa que tendrá el propósito de confirmar o refutar la hipótesis inicial sobre el cambio de densidad en vegetación expresado por valores menores de reflectancia entre píxeles en las imágenes después del huracán María.

5. Datos y Resultados:

5.1 Tablas

Tabla 1. NDVI Antes y Después del Huracán María (dentro del Yunque)

Antes:	Después:
0.436531	0.2405
0.0215654	0.0103
0.328980	0.173283
0.349274	0.149870
0.285392	0.173043
0.399562	0.204255
0.382102	0.150887
0.420746	0.186165
0.415246	0.199930
0.390344	0.143733

	<i>Antes</i>	<i>Después</i>
<i>Promedio</i>	0.3433831	0.164668667
<i>Mediana</i>	0.386223	0.1733565
<i>Rango</i>	0.410877	0.193955
<i>Desviación Estándar</i>	0.120758379	0.061504005

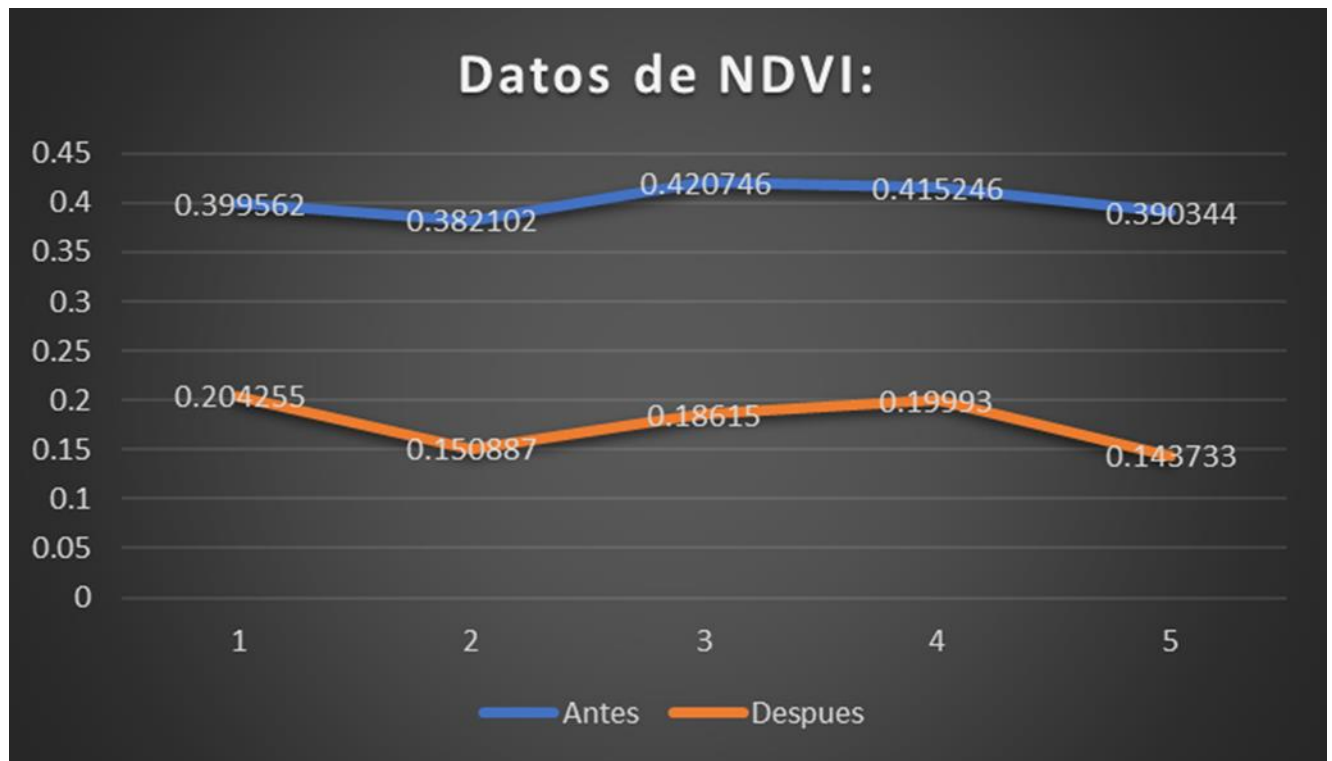
Tabla 2. NDVI Antes y Después del Huracán María (fuera del Yunque)

Antes	Después
0.6092	0.3646
0.3218	0.3546
0.4009	0.1777
0.3588	0.2243
0.3961	0.1907
0.3957	0.1723
0.4033	0.2301
0.4180	0.1499
0.4101	0.1811
0.4079	0.1823

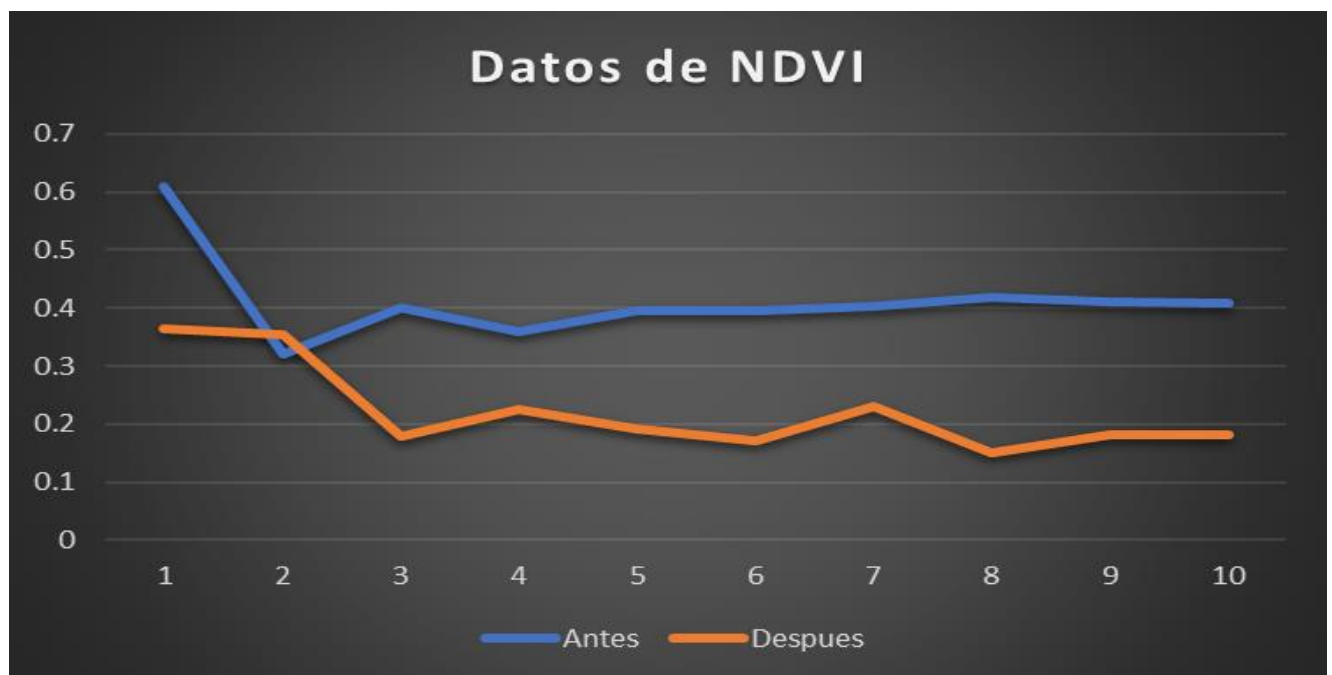
	<i>Antes</i>	<i>Después</i>
<i>Promedio</i>	0.41218	0.22276
<i>Mediana</i>	0.4021	0.1865
<i>Rango</i>	0.2874	0.01
<i>Desviación Estándar</i>	0.075001938	0.075896292

5.2 Graficas

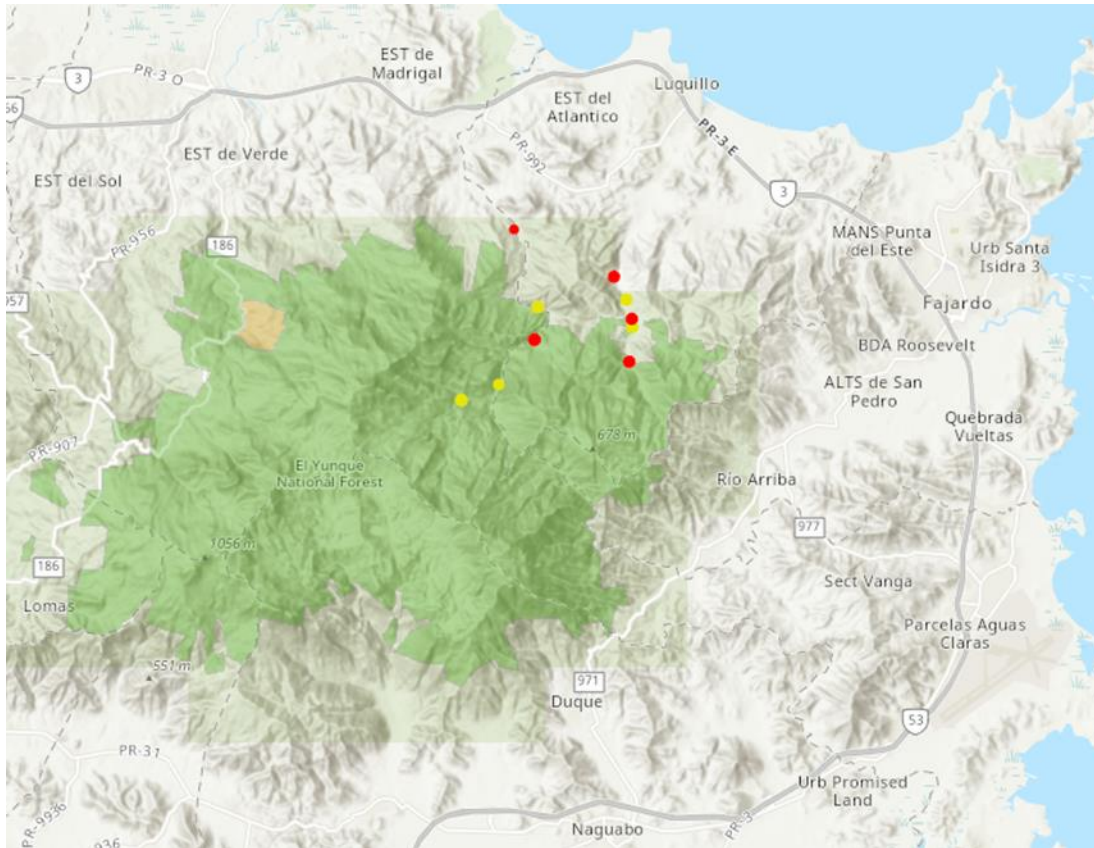
Grafica 1. NDVI Dentro del Yunque



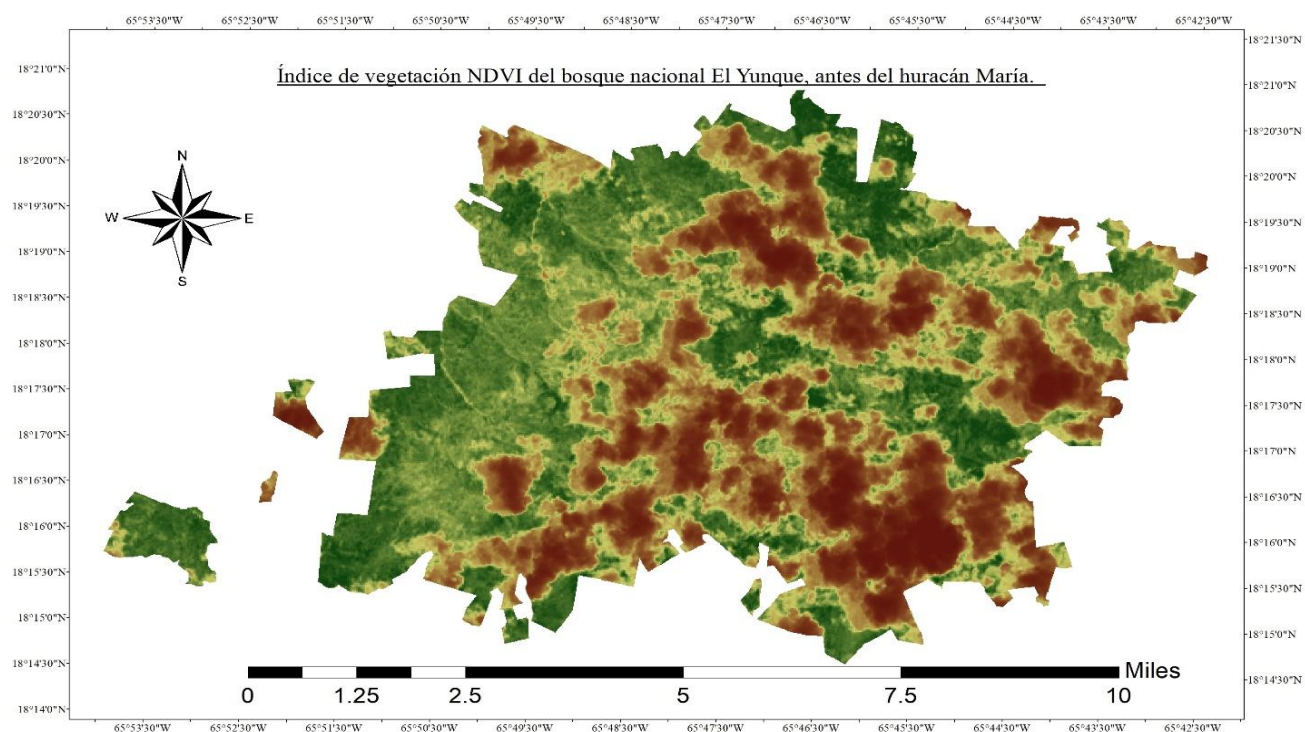
Grafica 2. NDVI fuera del bosque



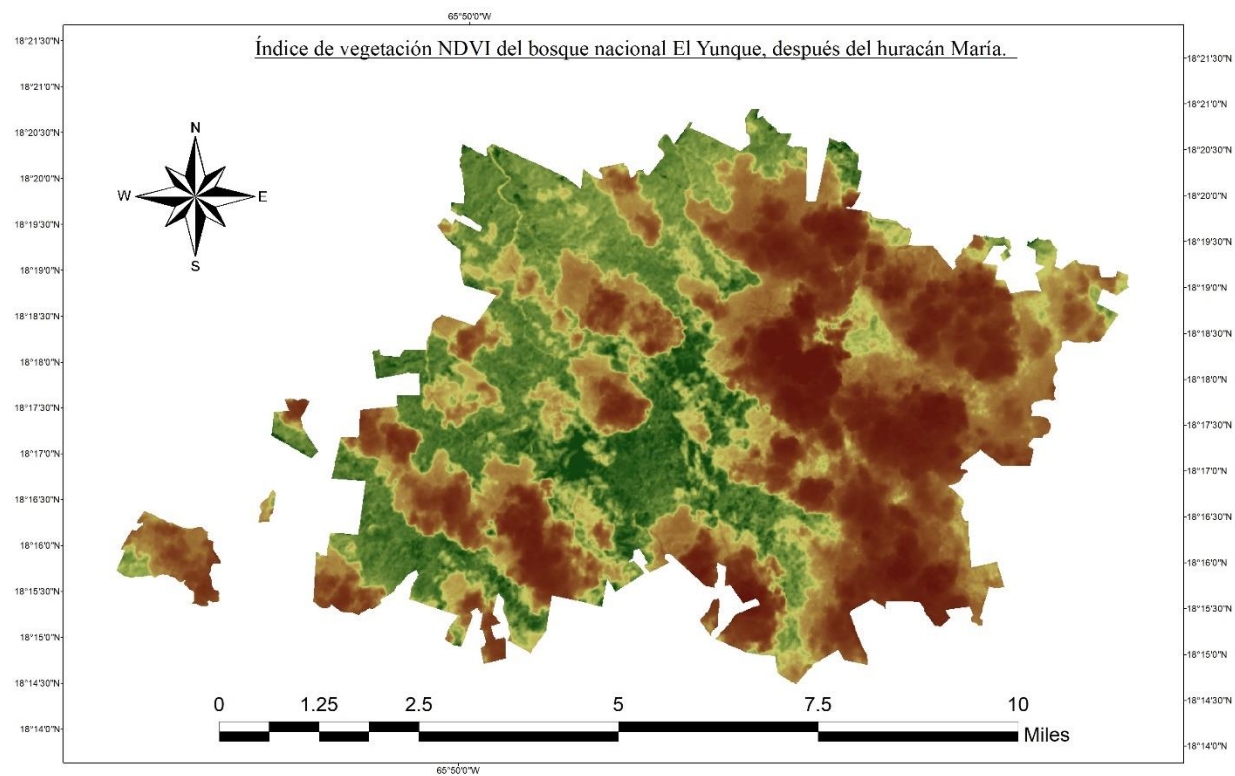
5.3 Imágenes



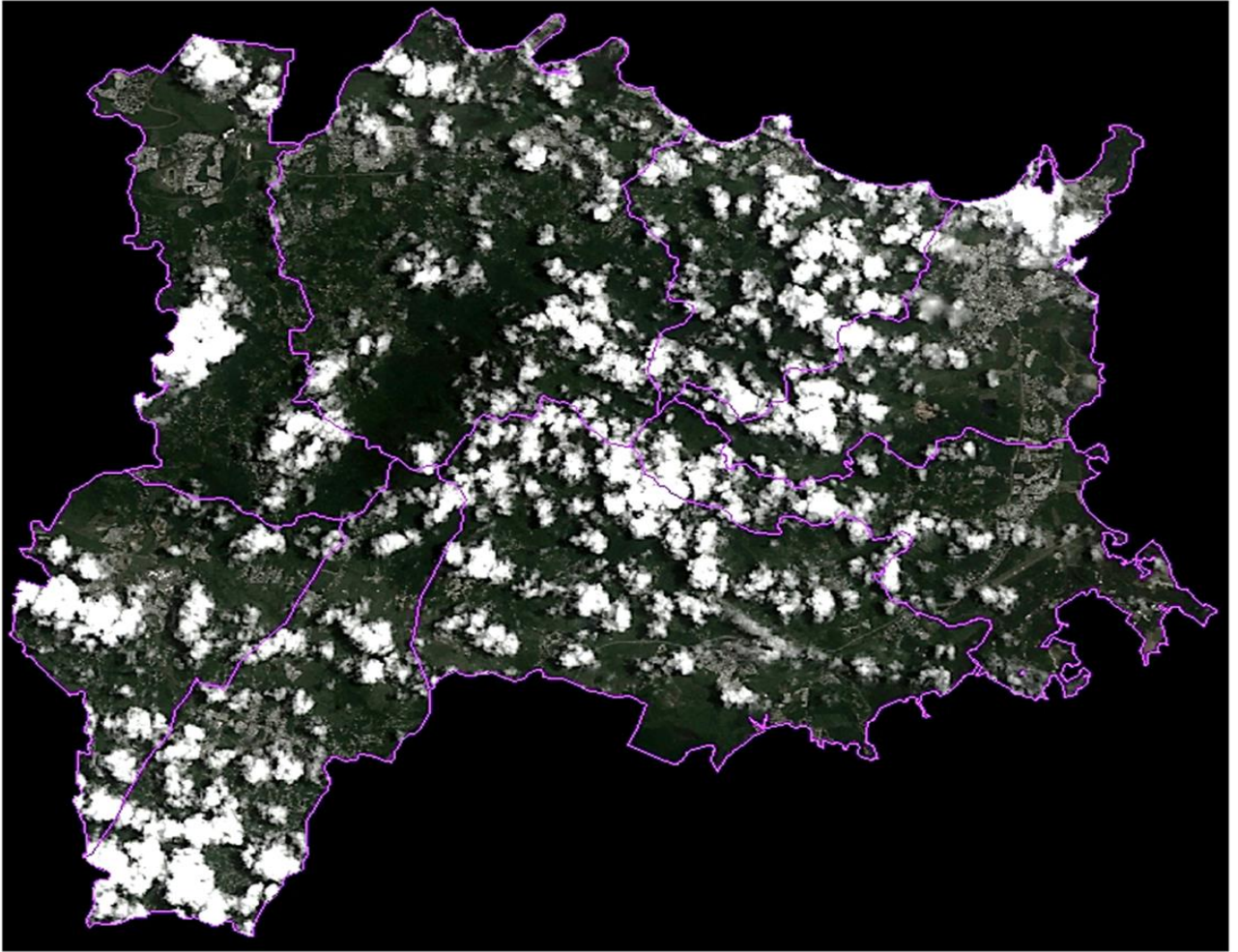
(Área de Estudio, Imagen 1)



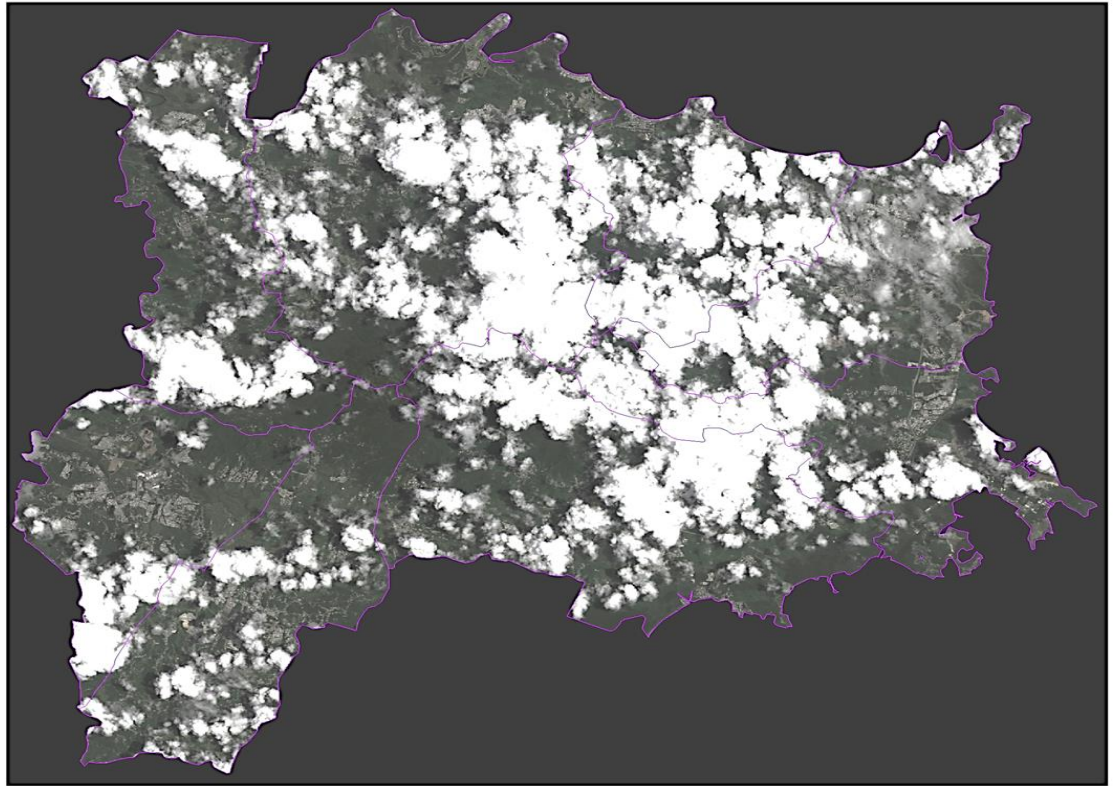
(NDVI antes de Maria, Imagen 2)



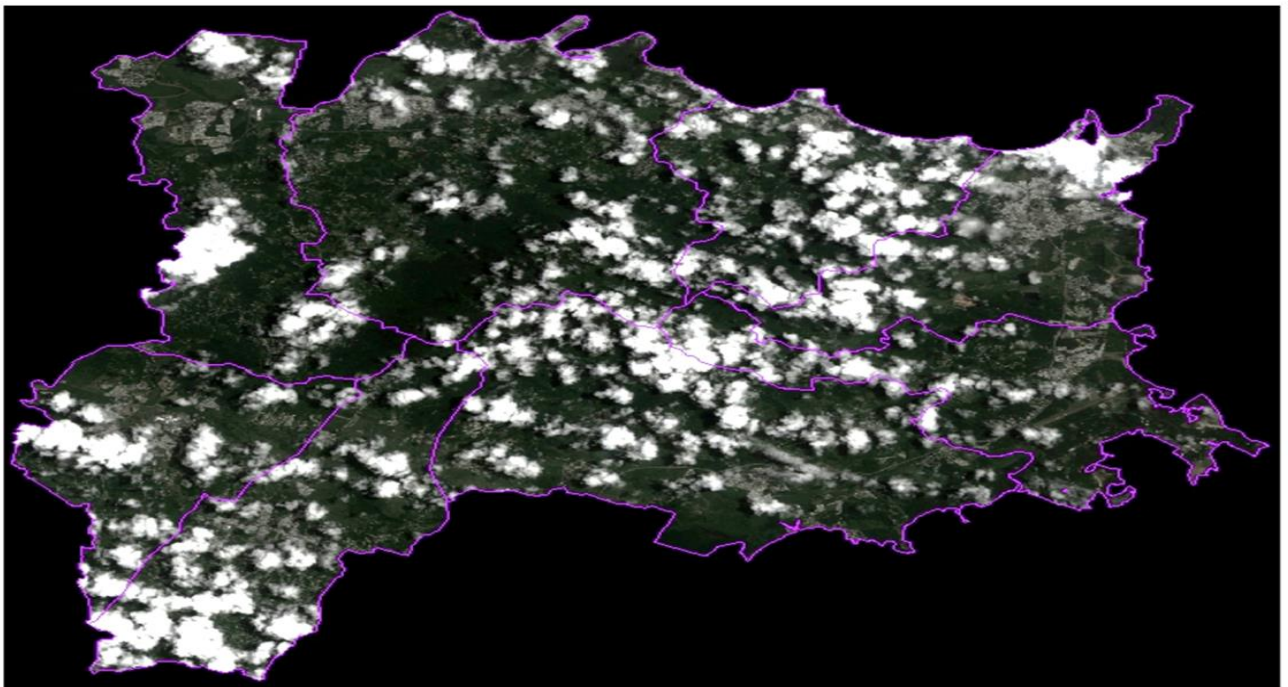
(NDVI, después de María Imagen 3)



(24 de julio, 2017 Imagen 4)



(9 de agosto, 2017 Imagen 5)



(25 de agosto, 2017 Imagen 6)

6. Discusión de Resultados:

El resultado de la ecuación de NDVI permite obtener una imagen donde se destacan gráficamente determinados píxeles relacionados con parámetros de las coberturas vegetales. Este índice define valores de -1.0 a 1.0, donde los valores negativos están formados principalmente por nubes, agua y nieve, y los valores negativos cercanos a cero están formados principalmente por rocas y suelo descubierto. Los valores muy pequeños (0.1 o menos) de la función NDVI corresponden a áreas sin rocas, arena o nieve. Los valores moderados (de 0.2 a 0.3) representan arbustos y praderas, mientras que los valores grandes (de 0.6 a 0.8) indican bosques templados y tropicales (Tabla-1).

La clorofila (un indicador de salud) absorbe una gran cantidad de luz visible y la estructura celular de las hojas refleja intensamente la luz infrarroja cercana. Cuando una planta se deshidrata, enferma, sufre enfermedades, entre muchos otros factores, el mesófilo esponjoso se deteriora y la planta absorbe más luz infrarroja cercana, en lugar de reflejarla (Gráfica-1). Se aceptó la hipótesis previa: Los índices de vegetación NDVI derivados de imágenes satelitales Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1, permiten diferenciar las distintas coberturas vegetales y estimar su calidad antes y después del paso del huracán María.

Luego de analizar los del NDVI el promedio en el bosque del Yunque antes del paso del huracán María fue de 0.3433 y luego del paso de María su promedio bajo a 0.1646, una diferencia de 0.1787 indicando la pérdida de vegetación. En los análisis del NDVI fuera del área del Yunque antes del paso de María fue de 0.4121 después con un promedio de 0.2227 con una diferencia de 0.1894 un poco mayor a la pérdida en comparación con la de adentro del bosque. Sus desviaciones estándar fueron de 0.1207 (antes) y de 0.0615 (después) del paso del huracán María dentro del

bosque. La desviación estándar fuera del bosque fue 0.0750 (antes) y de 0.0759 (después) en el área fuera del bosque.

Cuando se estudia un índice de vegetación con una imagen satelital están funcionando de manera que la reflectancia espectral de la vegetación a través de las diferentes bandas sus medidas son generadas por un sensor sirve como indicador de la presencia de plantas o árboles y por medio de los datos indica su estado general. Según la tabla de datos dentro de la zona de estudio del Yunque los valores antes del huracán María no fueron los esperados. El mapa de NDVI ayuda a diferenciar la vegetación de otros tipos de vegetación y visualizar las áreas con mayor vegetación en el mapa. Pero según los datos del cálculo no valida lo que se observa en el mapa. Los datos antes del huracán María son sumamente bajos a los que se espera en una zona tropical, saludable sin sufrir ningún tipo de estrés o daño.

Los valores al ser bajos se piensan que se debe a la gran cantidad de nubes que se encuentra en el área de interés de estudio. Lo cual en las zonas donde no se encuentra presencia de nubes no debe tener ninguna con relación y mostrar un valor real. Básicamente, el NDVI funciona comparando matemáticamente la cantidad de luz roja visible absorbida y la luz infrarroja cercana reflejada. Y por consiguiente se piensa que por el factor de nubosidad en el área de estudio los valores no fueron los esperados antes del fenómeno del huracán María. Siendo los valores esperados en el rango de 0.6 a 0.8. Los datos muestreados en la imagen no se encontraban dentro de este rango. El valor más alto encontrado en toda la zona de estudios dentro del Yunque fue de 0.436531.

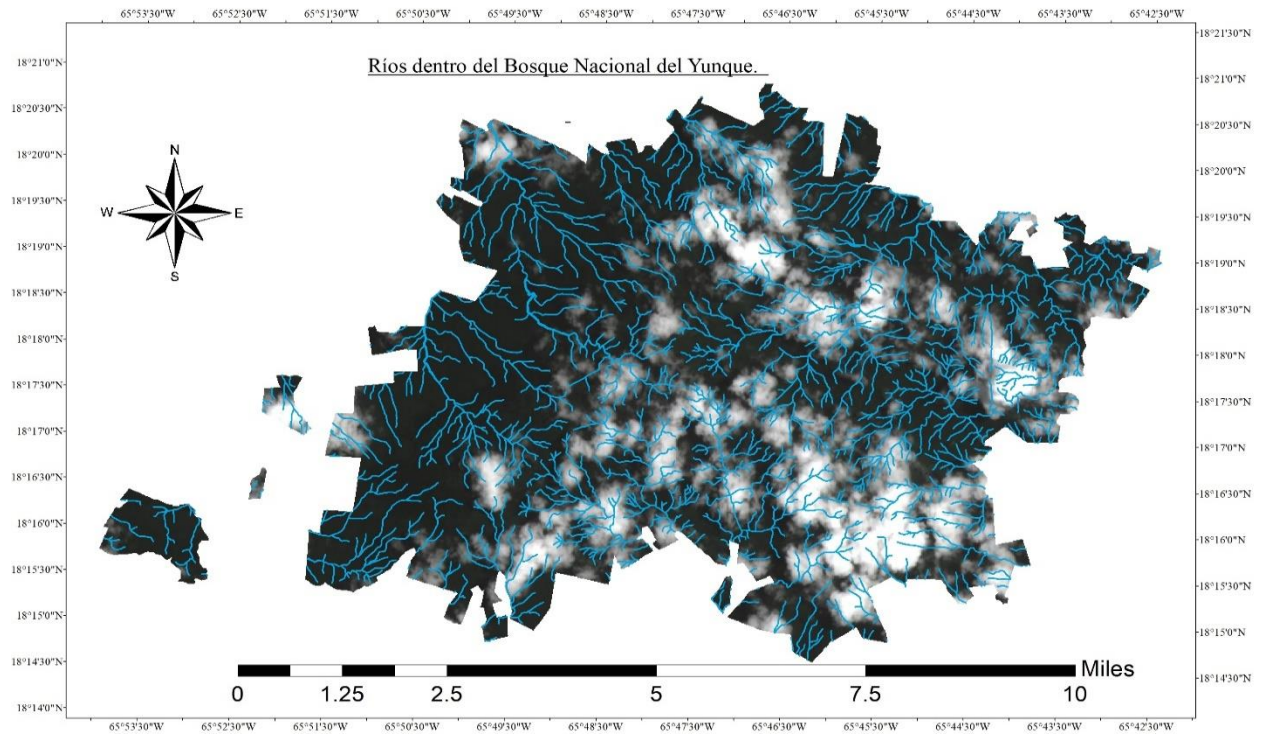
Otro factor posible puede ser los píxeles, el promedio de valores generados por el cálculo en la imagen termina formando un píxel y su valor medio. Dentro de este píxel hay agua y nubes y otros elementos adicionales a la vegetación que no están siendo fieles a lo que el NDVI pretende

analizar. Así que entra en juego otros elementos adicionales a la vegetación a mi valor NDVI. Los datos se pueden volver contradictorios al encontrarse localizado en una zona de vegetación ligada un ambiente húmedo.

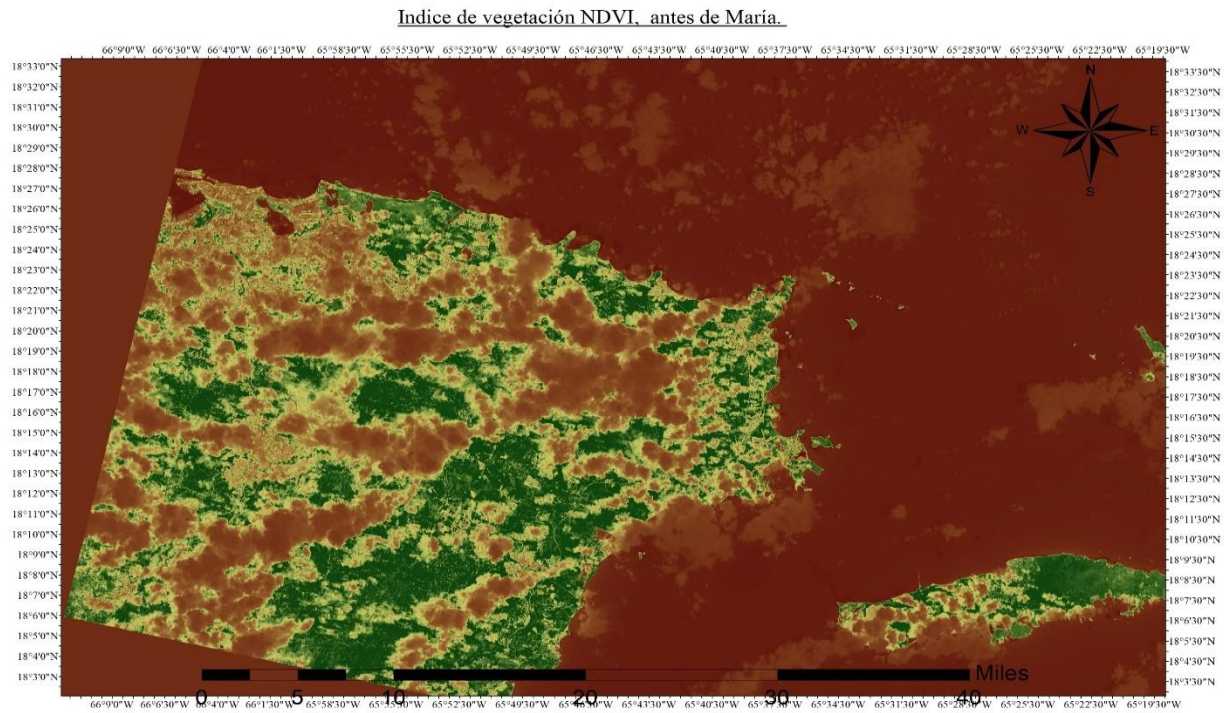
Para poder analizar más detallado lo antes mencionado se realizó una comparación de los datos de NDVI antes y después fuera de la zona de estudio. Se detecto que el valor más alto fue de, 0.6092. Por otra parte, la disminución en los valores de NDVI en toda el área este de Puerto Rico indican que existe algún factor que afecta el resultado de datos generados en el cálculo.

La metodología aplicada facilitó la elaboración de mapas de la vegetación que, en conjunto con el tratamiento informático de las imágenes satelitales, dio origen a la discriminación de la densidad de la vegetación y su estado después del paso del huracán María, obteniendo unos valores bajos de NDVI que equivalen a una de clasificación de baja densidad vegetación y altamente estresados.

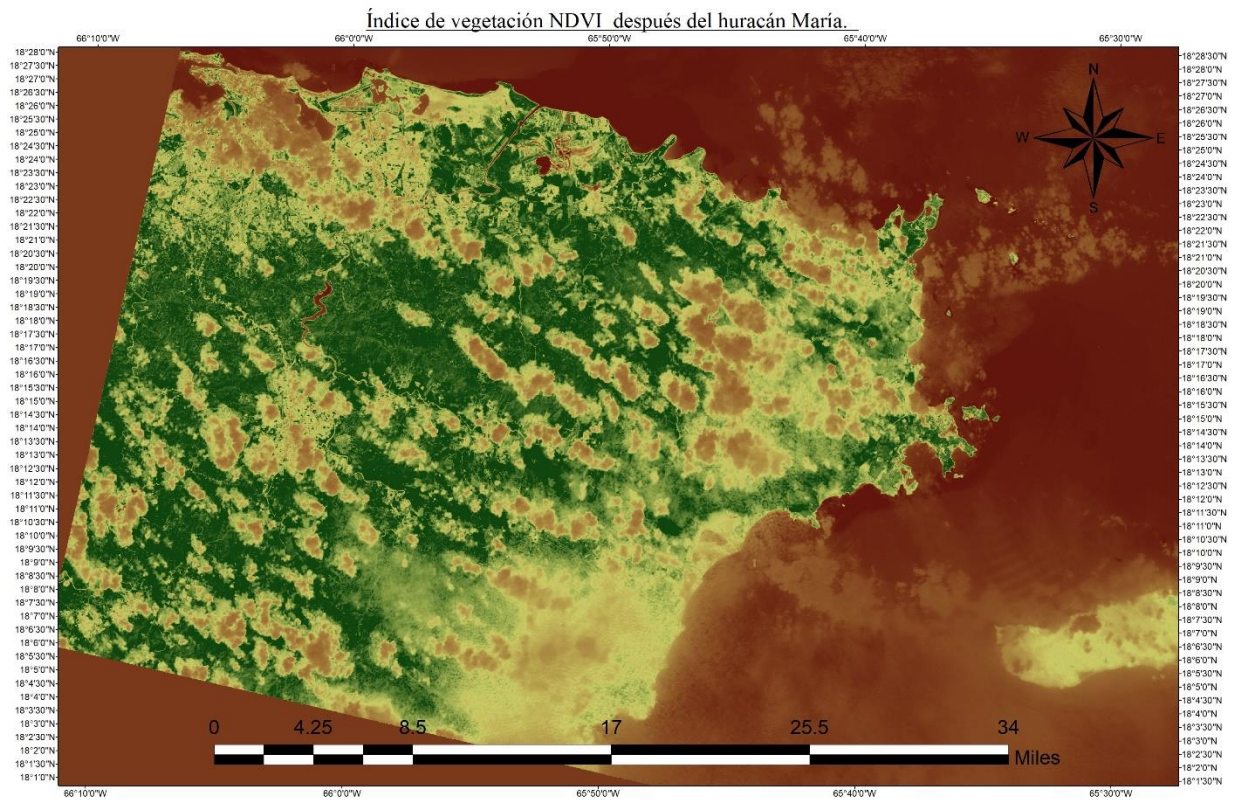
7. Proyecciones:



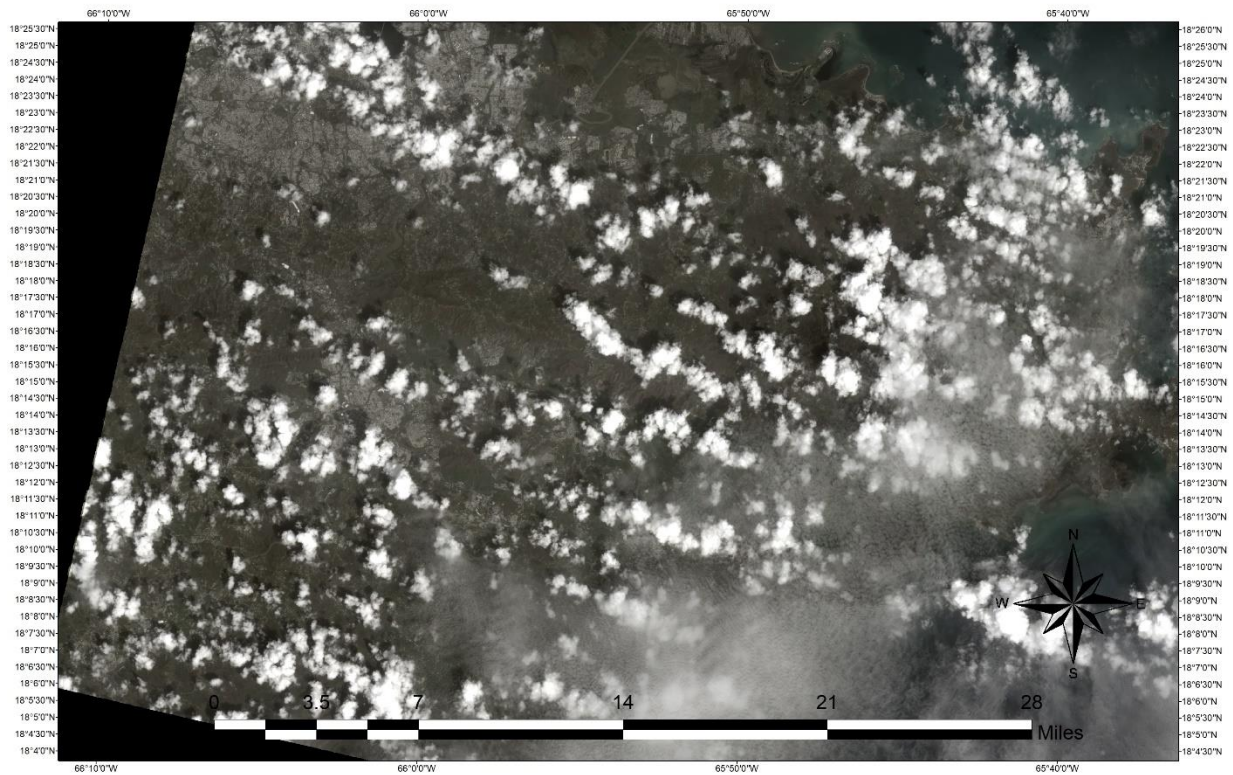
(Imagen 7)



(Imagen 8)



(Imagen 9)



(Imagen 10)

8. Conclusión:

De forma sencilla, el NDVI es una medida de identificar la forma en que una planta refleja la luz en ciertas frecuencias (algunas ondas se absorben y otras se reflejan). Las imágenes de satélite que se basan en el reflejo de la radiación solar se ven desafiadas por la persistente nubosidad en los trópicos montañosos donde la cobertura de nubes promedio podría alcanzar un $55.5\% \pm 12.5\%$ incluso durante la estación seca, según los datos de la isla tropical de Puerto Rico. Se logro el objetivo principal de esta investigación que fue estimar y analizar el índice de vegetación de la región del Bosque Nacional El Yunque de Puerto Rico antes y después de María. Luego de crear los mapas mostrando el NDVI utilizando las imágenes satelitales de Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1. Luego de recopilar los datos acerca del cambio de vegetación en el bosque, los valores del cálculo fueron comparados. Los índices de vegetación se aplicaron en análisis cuantitativo y cualitativos. Empleados cualitativamente, permiten determinar rápidamente el estado relativo de la vegetación en una zona y cuantitativo por medio de los valores lograr determinar la influencia del factor ambiental que fue el huracán a la vegetación.

El análisis de datos del NDVI se pudo identificar el promedio en el bosque del Yunque antes del paso del huracán María que fue de 0.3433 y luego del paso de María fue de 0.1646, indicando la perdida de vegetación. Lo mismo se identificó en el análisis del NDVI fuera del área del Yunque antes del paso de María fue de 0.4121 y después con un promedio de 0.2227, una perdida un poco más alta en comparación con la de adentro del bosque. Sus desviaciones estándar fueron de 0.1207 (antes) y de 0.0615 (después) del paso del huracán María dentro del bosque. La desviación estándar fuera del bosque fue 0.0750 (antes) y de 0.0759 (después) en el área fuera del bosque. Este uso de tecnología y datos son de gran ayuda e importancia para investigaciones y para tomar soluciones y proyectos preventivos para la recuperación y protección de la vegetación.

El problema con el NDVI como herramienta para medir la densidad de la vegetación es que satura con grandes cantidades de biomasa verde. Simplificando, puede determinar las mismas lecturas del NDVI para una densidad de vegetación baja y muy alta. Considere usar el índice EVI, (Índice de Vegetación Mejorado), que es una versión modificada especialmente preciso en áreas con un dosel denso.

9. Recomendaciones:

El presente trabajo permite recomendar la utilización de imágenes obtenidas durante la temporada seca y realizar la valoración a partir del NDVI cuando se requiere hacer una buena separación entre la temporada de lluvia y moderada circundante, ya que puede permitir comparar valores y determinar si las nubes son un gran factor para distinguir bien la vegetación de ambos tipos de vegetación sobre el gradiente climático que se encuentra en esa zona. El Bosque Nacional El Yunque, es el único bosque tropical pluvial dentro del Sistema Nacional de Bosques de los Estados Unidos. Al ser un bosque lluvioso, el agua se convierte en uno de los elementos más importantes de El Yunque. En el año hay 156 días en los que llueve por lo menos 1 hora diaria y se registran alrededor de 1,625 aguaceros anualmente. Al año caen aproximadamente 97 pulgadas de lluvia en las partes bajas del bosque y más de 185 pulgadas en las altas.

Los meses en donde menos agua fluye son febrero y marzo, siendo septiembre y octubre los meses de mayor lluvia. La lluvia abundante es resultante primordial de procesos orográficos ocasionados por el movimiento de aire húmedo desde el océano hacia la Sierra de Luquillo. En su ascenso por las laderas noreste de El Yunque, la humedad se condensa resultando en lluvias abundantes la mayor parte del año. La elevación del Yunque disminuye la temperatura en el terreno, lo que promueve condensación directa de parte de la humedad en las nubes al hacer contacto con la vegetación y los suelos del área. Vaguadas, temporales y huracanes periódicos

proveen lluvias de gran magnitud en tiempos cortos que contribuyen a que El Yunque sea la zona más lluviosa en Puerto Rico. (Quiñones, 2021) (Véase imágenes 4-6).

10. REFERENCIAS

- Copyright 2009 - 2019 Metro International. (13 de Diciembre de 2018). Obtenido de [www.metro.pr:
https://www.metro.pr/pr/noticias/2018/12/13/detallan-consecuencias-maria-yunque.html](http://www.metro.pr/pr/noticias/2018/12/13/detallan-consecuencias-maria-yunque.html)
- Chabrier Alpi, A. M., & Cáliz Padilla, R. (s.f.). (D. d. Universidad de Puerto Rico, Ed.) Recuperado el 30 de Octubre de 2021, de http://gers.uprm.edu/geol4048/pdfs/Chabrier_Caliz_2017.pdf
- CienciaPR y CAPRI. (4 de Octubre de 2017). Obtenido de https://www.cienciapr.org/es/external-news/flora-y-fauna-las-otras-victimas-del-huracan-maria#google_vignette
- Copyright © 2020 ACCIONA. (2 de Noviembre de 2021). Obtenido de [www.accion.com:
https://www.accion.com/es/cambio-climatico/?_adin=02021864894](https://www.accion.com/es/cambio-climatico/?_adin=02021864894)
- EOS Data Analytics, Inc. (28 de Noviembre de 2021). Obtenido de Earth Observing System: <https://eos.com/es/make-an-analysis/ndvi/>
- FS.USDA. (28 de Noviembre de 2021). Obtenido de www.fs.usda.gov/elyunque : https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb5338931.pdf
- Greenteach. (2 de Noviembre de 2021). www.greenteach.es. Obtenido de <https://www.greenteach.es/cambio-climatico-causas-consecuencias-soluciones/>
- Metro de Puerto Rico. (28 de Septiembre de 2017). Obtenido de [www.metro.pr:
https://www.metro.pr/pr/noticias/2017/09/28/nasa-revela-imagenes-la-deforestacion-la-isla-tras-maria.html](http://www.metro.pr/pr/noticias/2017/09/28/nasa-revela-imagenes-la-deforestacion-la-isla-tras-maria.html)
- Naciones Unidas. (2 de Noviembre de 2021). Obtenido de [www.un.org:
https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change](https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change)
- Quiñones, F. (30 de Noviembre de 2021). Obtenido de Recursos de Agua de Puerto Rico: <http://www.recursosaguapuertorico.com/hidrologiayunque.html#:~:text=El%20Yunque%20disfruta%20de%20lluvia,hacia%20la%20Sierra%20de%20Luquillo.>
- Ramos-Rodríguez, M. I., & Irizarry-Ramírez, M. (s.f.). (R. U. Universidad de Puerto Rico, Ed.) Recuperado el 3 de Noviembre de 2021, de http://gers.uprm.edu/geol4048/pdfs/Ramos_Irizarry_2016.pdf
- Rivera-Torres, N. G., & Zayas-Rivera, Y. (s.f.). (U. d. Mayagüez, Ed.) Recuperado el 30 de Octubre de 2021, de http://gers.uprm.edu/geol4048/pdfs/Rivera_Zayas_2017.pdf
- Salisbury , C. (5 de Abril de 2018). Obtenido de [es.mongabay.com:
https://es.mongabay.com/2018/04/huracanes-en-bosques-tropicales/](https://es.mongabay.com/2018/04/huracanes-en-bosques-tropicales/)
- Spa Sciences. (5 de Noviembre de 2021). Obtenido de [spa.sciences-world.com: https://spa.sciences-world.com/nasa-surveys-hurricane-damage-puerto-ricos-forests-83542](https://spa.sciences-world.com/nasa-surveys-hurricane-damage-puerto-ricos-forests-83542)