

Universidad de Puerto Rico
Recinto Universitario de Mayagüez
Departamento de Biología
Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la Biología

Proyecto de Investigación: Identificación de áreas críticas de deforestación de una reserva natural luego de un huracán para estrategias de reforestación con procesamiento de imágenes y SIG

Alia Ortiz Bayrón
BIOL-5036-071L
Prof. Dr. Gilbes

Introducción

La información recopilada por los sistemas de percepción remota (SPR) ha sido de gran importancia para resolver y manejar eventos de emergencia como los fuegos forestales, inundaciones, huracanes, etc. Luego de que el Huracán María pasara por la isla de Puerto Rico, el 20 de septiembre del 2017, la National Aeronautics and Space Administration (NASA) publicó lo que serían las primeras imágenes satelitales de la isla del evento catastrófico por el sensor Operational Land Imagen (OLI) del satélite Landsat 8. Estas imágenes permitieron tener una idea de cómo se afectó el paisaje y cobertura de la isla de un color verde a color marrón en zonas rurales, así como los ríos de un color azul a un color marrón por las escorrentías, etc. (Metro Puerto Rico, 2017). Como parte de, el equipo de la NASA, Advanced Rapid Imaging and Analysis (ARIA), creó un "Damage Proxy Map (DPM)" con las imágenes del este de la isla del radar SAR de los satélites Copernicus Sentinel-1A y Sentinel-1B. Con estas imágenes se presentó un antes y un después de que pasara el Huracán María y fue entregado a agencias como Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA, por sus siglas en inglés). FEMA utilizó dicho mapa e información para estimar la densidad de los daños (NASA, 2017). Las estimaciones realizadas por las imágenes satelitales capturadas no solo han funcionado para planes y estrategias de rescate y distribución de ayudas y recursos a los lugares más necesitados, sino que también proporciona información para planes de restauración y reforestación de áreas de gran valor ecológico luego del paso de un efecto como un huracán categoría 4.

Una de las estimaciones que se realizó con respecto al impacto de la flora en Puerto Rico lo hizo el Instituto Internacional de Dasonomía Tropical del Servicio Federal de Bosques, calculando que el Huracán María destruyó 144 millones de árboles, representando el 30% de los árboles en varios sectores de Puerto Rico (El Nuevo Día, 2021). Luego de más de 3 años del paso del Huracán María por la Isla, sectores ambientalistas evalúan que a pesar de que se han sembrado alrededor de 300, 000 árboles, esto representa menos del 1% de los árboles que destruyó el huracán y hacen un llamado a las agencias ambientales y al gobierno del país de evaluar las leyes y reglamentaciones que protegen los ecosistemas de la isla para frenar el deterioro de estos por la actividad humana y alientan a que aumente la gestión de reforestación (El Nuevo Día, 2021). Comprendiendo la importancia de la protección, restauración y conservación de los ecosistemas luego de un evento catastrófico, adicional a las acciones antropogénica, sobre los ecosistemas de Puerto Rico, se hace presente la idea de buscar y generar estrategias y planes para ello con los sistemas remotos y los sistemas de información geográfica (SIG).

Para la estimación del impacto del Huracán María en la vegetación de Puerto Rico utilizando Percepción Remota Multiespectral, Hu y Smith, llevaron a cabo una investigación comparando los cambios en el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) en imágenes y datos del Landsat 8 OLI y Sentinel-2 (Hu y Smith, 2018). Los resultados de su investigación estimaron que el NDVI luego del Huracán María disminuyó 0.2 en comparación con años previos, 2015 y 2016

(Hu y Smith, 2018). El NDVI es uno de los principales índices de vegetación y ha sido utilizado en diversas investigaciones para analizar los datos, no solo a nivel espacial sino también a nivel numérico. Este es un índice estandarizado que genera la biomasa relativa presente en un área que utiliza dos bandas del conjunto de datos ráster multiespectrales, la banda roja, la cual absorbe el pigmento de clorofila y la banda del infrarrojo cercano (NIR) la cual muestra altos niveles de reflectividad de la vegetación (ESRI, 2016). Para evaluar no solo el efecto del Huracán, sino también para presentar soluciones y estrategias de restauración de la vegetación de Puerto Rico, se pueden utilizar varios parámetros con datos de sistemas geográficos.

En el 2013 Keleş y Günlü, publicaron una investigación para estimar las áreas prioritarias para la reforestación en una planificación de manejo forestal utilizando SPR y SIG con los parámetros como cierre de copa, pendiente y humedad de suelo pudiendo identificar 12 áreas de prioridad (47% del área de estudio) (Keleş y Günlü, 2013). Por otro lado, el análisis geoespacial se ha utilizado también para crear modelos de proyecciones de deforestación y reforestación tomando en cuenta multicriterio como altitud, pendiente, producción forestal, áreas de restauración, tipos de suelo, densidad de población y bosque degradado, entre otros (Monjardin et al., 2020).

Estas investigaciones toman en cuenta y muestran la importancia de las áreas forestales. Los bosques cubren alrededor de un tercio de la superficie Terrestre del Planeta Tierra y son áreas que juegan un papel importante en la mitigación de las emisiones de CO₂ (Keleş y Günlü, 2013). También, además de ser Fuente de múltiples recursos, los bosques son vitales para la conservación de la diversidad biológica ya que en ellos se alberga el 70% de las especies de animales y plantas del mundo (USDA, n.d.). Las Áreas Naturales Protegidas de Puerto Rico, albergan parte de los bosques de gran valor e importancia en la isla. Es por ello por lo que se realizó esta investigación en la Reserva Natural, Hacienda La Esperanza en Manatí la cual es administrada por el Fideicomiso de Conservación y en donde se llevan a cabo iniciativas de reforestación y otros usos en un área de gran biodiversidad de ecosistemas, incluyendo los bosques.

Pregunta Científica

¿Cuáles son las áreas críticas de deforestación de una reserva para la creación de un plan de reforestación luego de un huracán?

Objetivo

Combinar el análisis de imágenes satelitales y capas de información utilizando un SIG para las estrategias de reforestación en un área de reserva tropical luego de un huracán.

Metodología

Área de estudio

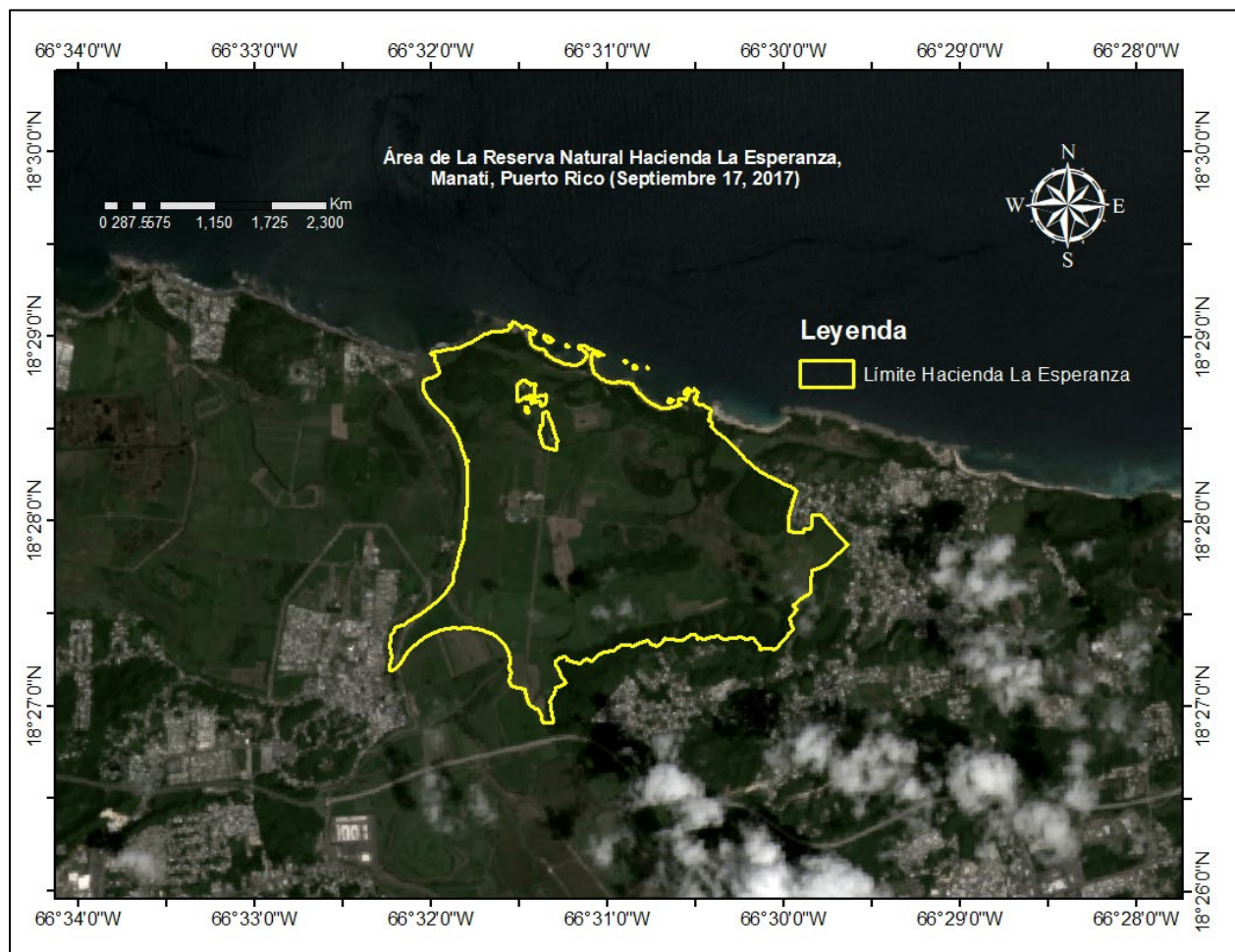


Figura 1. Mapa de delimitación de área de estudio, Reserva Natura Hacienda La Esperanza en Manatí.

La Reserva Natural Hacienda La Esperanza (en Adelante RNHE) está ubicada en el Municipio de Manatí, en la costa norte de Puerto Rico. En el Siglo XIX fue una de las haciendas azucaras más prósperas. Esta reserva comprende 2,150 acres y contiene una variedad de ecosistemas de los que se encuentran humedales, estuarios, cerros calizos y llanuras aluviales (National Trust for Historic Preservation, 2021). Esta reserva es refugio para especies nativas, endémicas y migratorias (Puerto Rico eBird, 2014).

Recopilación de datos

I. Recopilación de imágenes satelitales y capas de información

1. Búsqueda y descarga de imágenes

- EarthExplorer <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Coordenadas: 18.4663, Lon: -66.1057
- Rango de fecha: 09/01/2017 a 11/30/2017
- Sensor: Landsat 8 OLI/TIRS
- Factores para considerar: cercanía de fecha al evento (Huracán María), área de interés y cantidad de nubes presentes.

2. Descarga de Geodatos:

- Fuente: Base de Geodatos del Gobierno de Puerto Rico
<https://gis.pr.gov/Pages/default.aspx>
- Capas de información: Áreas Naturales Protegidas, Cobertura de suelo y Tipos de suelos

Procesamiento y análisis

II. Procesamiento de Imágenes y Análisis

1. Procesamiento de imágenes a mayor resolución con Banda Multiespectral en ArcMap 10.7.1

- Cambio de tamaño de celda de 30m a 15m
- Herramienta de ArcGIS: "Image Analysis: Pan Sharpen"

2. Cálculo NDVI en ArcMap

- Herramienta de ArcGIS: "Image Analysis: NDVI"
- Clasificar por clases (6) (Ver Table 1.)

Table 1. Suitable normalized difference vegetation index (NDVI) ranges identified for the land cover classes.

Class	NDVI Range
Water	−0.28–0.015
Built-up	0.015–0.14
Barren Land	0.14–0.18
Shrub and Grassland	0.18–0.27
Sparse Vegetation	0.27–0.36
Dense Vegetation	0.36–0.74

Fuente: (Akbar *et al.*, 2019)

Se realizó un proceso de borrar nubes, pero se descartó debido a los posibles efectos en el cálculo de los valores de NDVI.

3. Selección de área de estudio

- Capa de Áreas Naturales Protegidas en Puerto Rico
- Reserva Natural Hacienda La Esperanza en Manatí
- Herramienta: ArcToolBox -> Spatial Analysis Tool → Extraction → Extract by Mask

4. Comparación de los cambios en NDVI antes y después del Huracán María

- Imagen del 19 de octubre, 2021
- Capas: Imágenes con cálculo de NDVI, antes y después de María
- Selección de un área sin nubes
- Selección de puntos de comparación
- Herramienta de ArcGIS: Identify
- Se realizó una tabla con cálculos en cambio de NDVI

5. Procesamiento de capas en el área de la Reserva Natural:

- Capa de Cobertura de Terreno: clasificación de Bosques y Arboledas
- Capa de Tipos de Suelos:
 - a. Gradiente de pendiente
 - b. Tipos de suelos
- Herramienta de ArcGIS: Geoprocessing → Clip

6. Creación y diseño de mapas

7. Análisis:

- Cualitativo especial: Comparación de clasificaciones y valores de las capas

- Numérico: cambio NDVI

Tabla 2. Representación de valores de NDVI en ArcMap

Categoría	NDVI	Representación
Valores Negativos	<0	Nubes, agua y nieve
Valores Muy Bajos	<0.1	Áreas áridas de roca, arena o nieve
Valores Moderados	0.2 - 0.3	Arbustos y pastizales
Valores Altos	0.6 – 0.8	Bosques lluviosos templados y tropicales

Fuente: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/ndvi-function.htm>

Resultados

Los resultados de esta investigación fueron presentados en su mayoría por medio de mapas y a nivel numérico con las estimaciones de NDVI. La Figura 2. muestra es un mapa de la imagen satelital (con resolución modificada) que delimita el área de la RNHE días antes del Huracán María, del 17 de septiembre del 2021. Por otro lado, la Figura 3. Presenta la misma área luego del Huracán, imagen tomada el 19 de octubre del 2021.

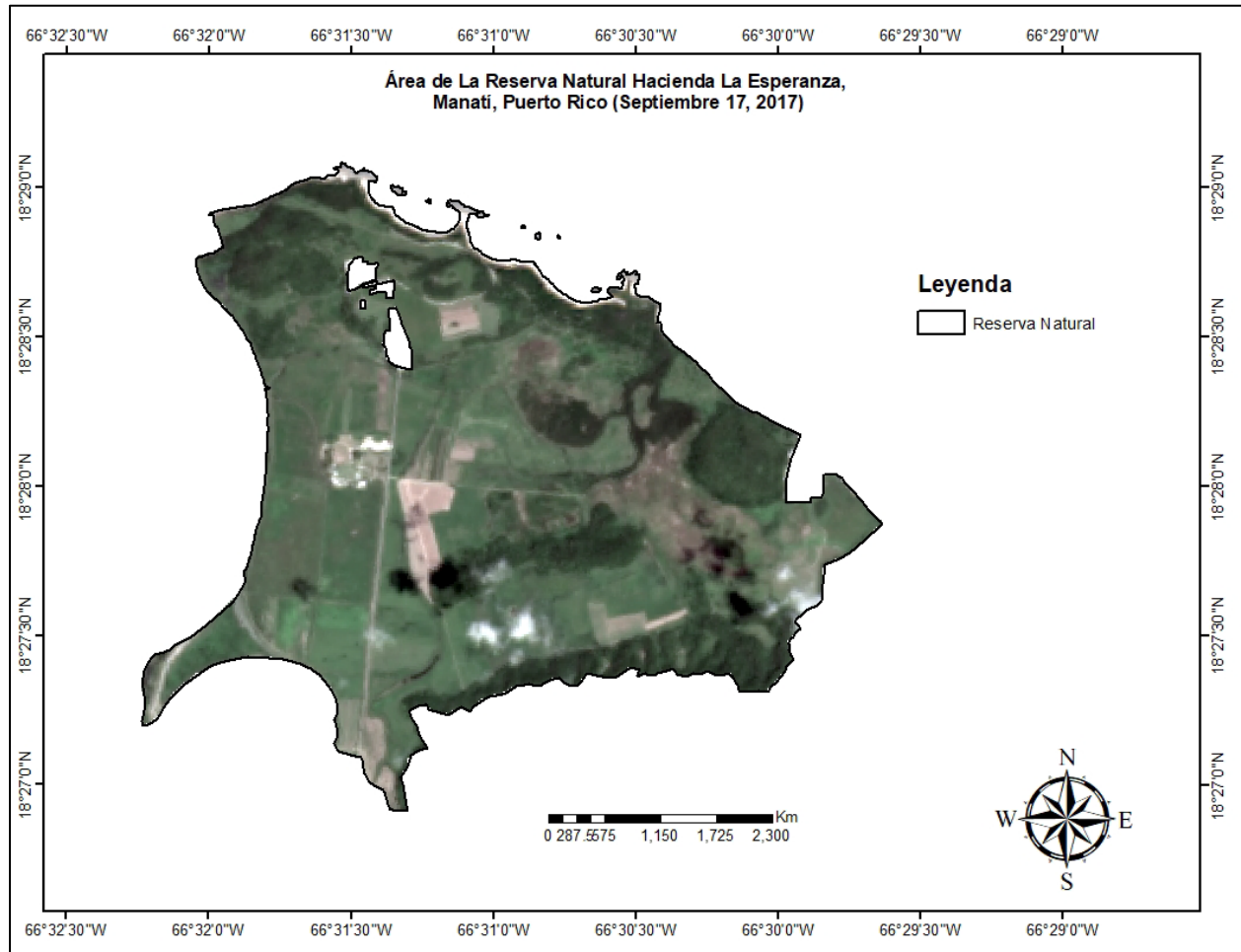


Figura 2. Área de La Reserva Natural Hacienda La Esperanza en Manatí antes del Huracán María.

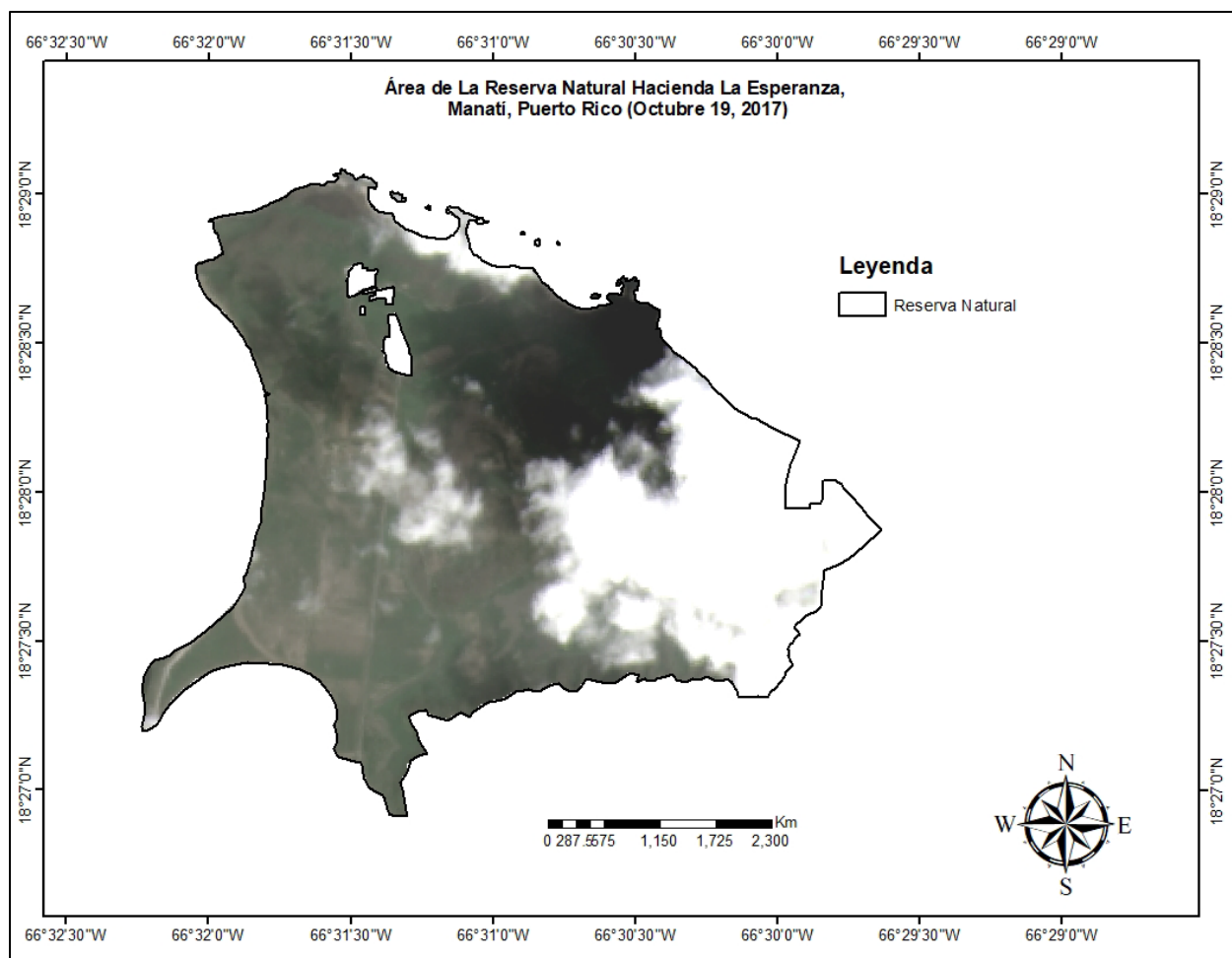


Figura 3. Área de La Reserva Natural Hacienda La Esperanza en Manatí luego del Huracán María.

En la Figura 4. Se ilustra un área de interés en dónde se tomaron puntos para comparar los NDVI de las imágenes antes y después del huracán los cuales se muestra en la Tabla 3. De los 6 puntos escogidos, el NDVI más bajo fue de 0.23 y el más alto fue de 0.46 antes del Huracán María. Luego del Huracán María, el punto con 0.23 descendió a 0.20 con una diferencia de 0.02, y el de 0.46 descendió a 0.11 con la mayor diferencia de 0.34. El promedio de las diferencias entre los valores de los puntos en las imágenes antes y después del Huracán fue de 0.15 (Tabla 3).

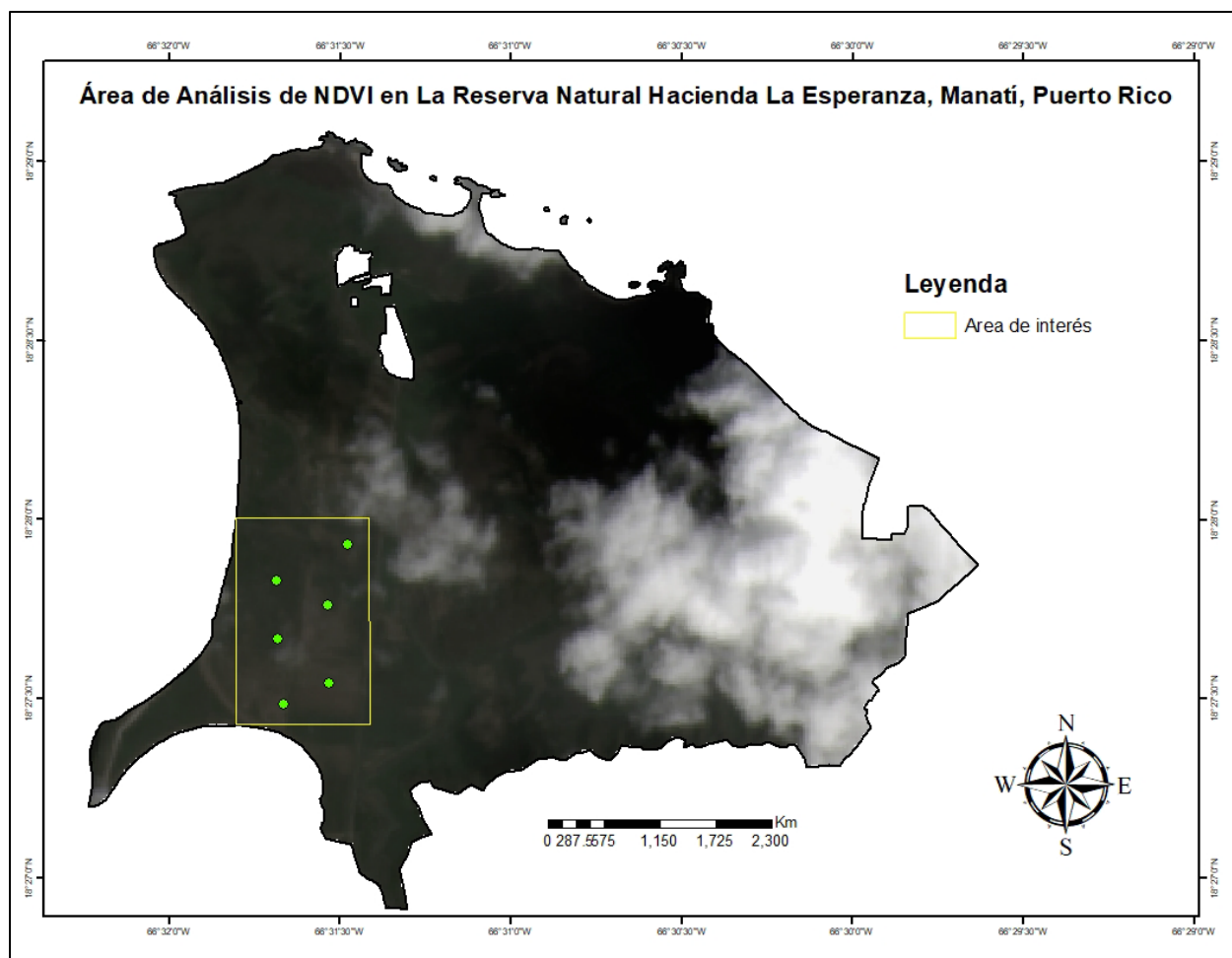


Figura 4. Área de interés para la comparación en cambios de NDVI en La Reserva Natural Hacienda La Esperanza en Manatí.

Tabla 3. Cambio de NDVI en Varios Puntos de la Reserva Natural Hacienda La Esperanza, Manatí, Puerto Rico, Antes y Después del Huracán María.

Punto	NDVI Antes del Huracán María	NDVI Después del Huracán María	Δ NDVI
1	0.346669	0.246984	0.099685
2	0.227541	0.205499	0.022042
3	0.256662	0.146779	0.109883
4	0.346513	0.207550	0.138963
5	0.376505	0.211499	0.165006
6	0.455074	0.113892	0.341182
			$\bar{X}=0.146127$

En la Figura 5. se ilustra un mapa del área de la RNHE antes del Huracán María utilizando 6 clases para los rangos de los valores de NDVI. Mientras, que en la Figura 6. Se ilustra el mapa para los valores de NDVI de la imagen luego del huracán.

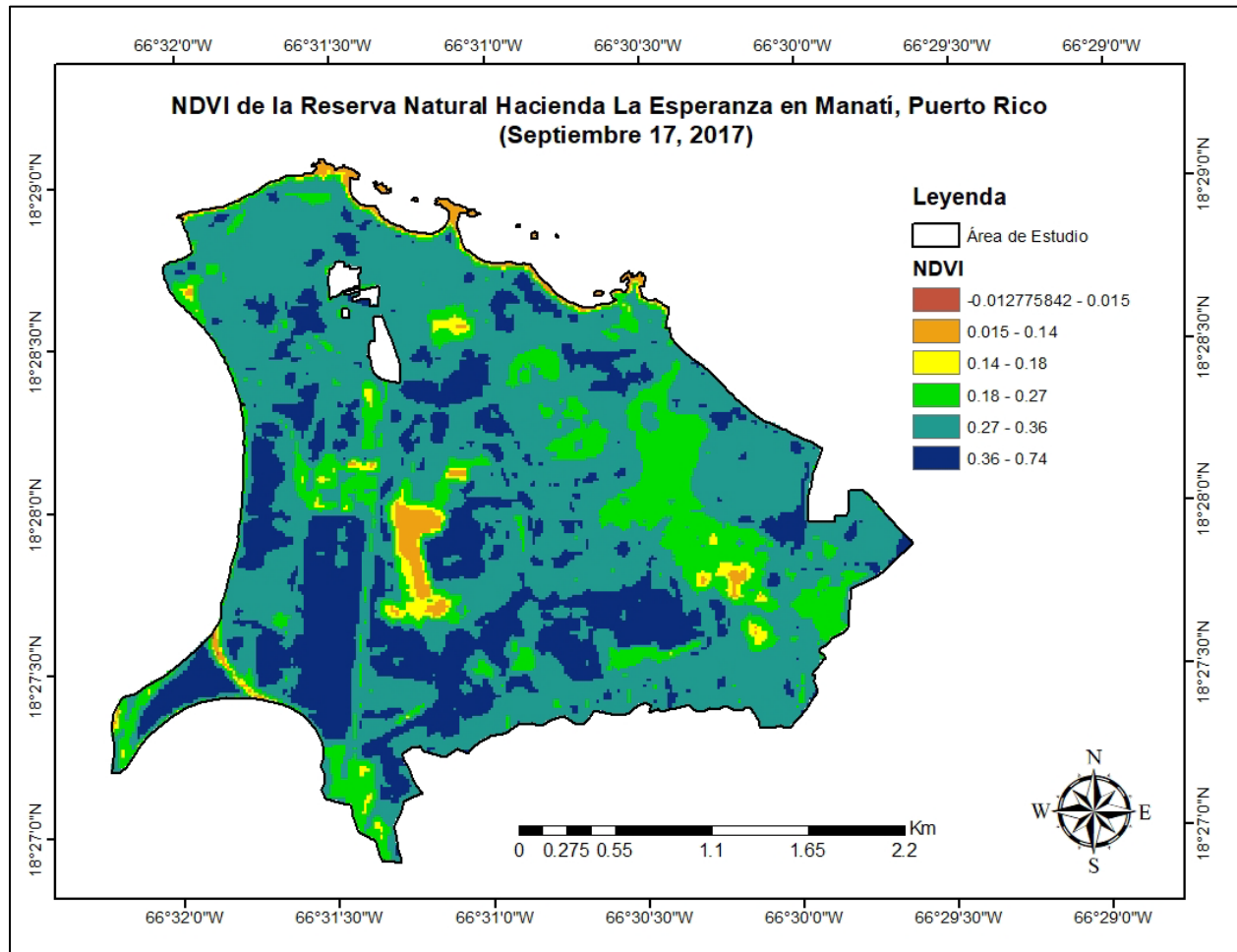


Figura 5. Mapa de los valores de NDVI en La Reserva Natural Hacienda La Esperanza en Manatí antes del Huracán María.

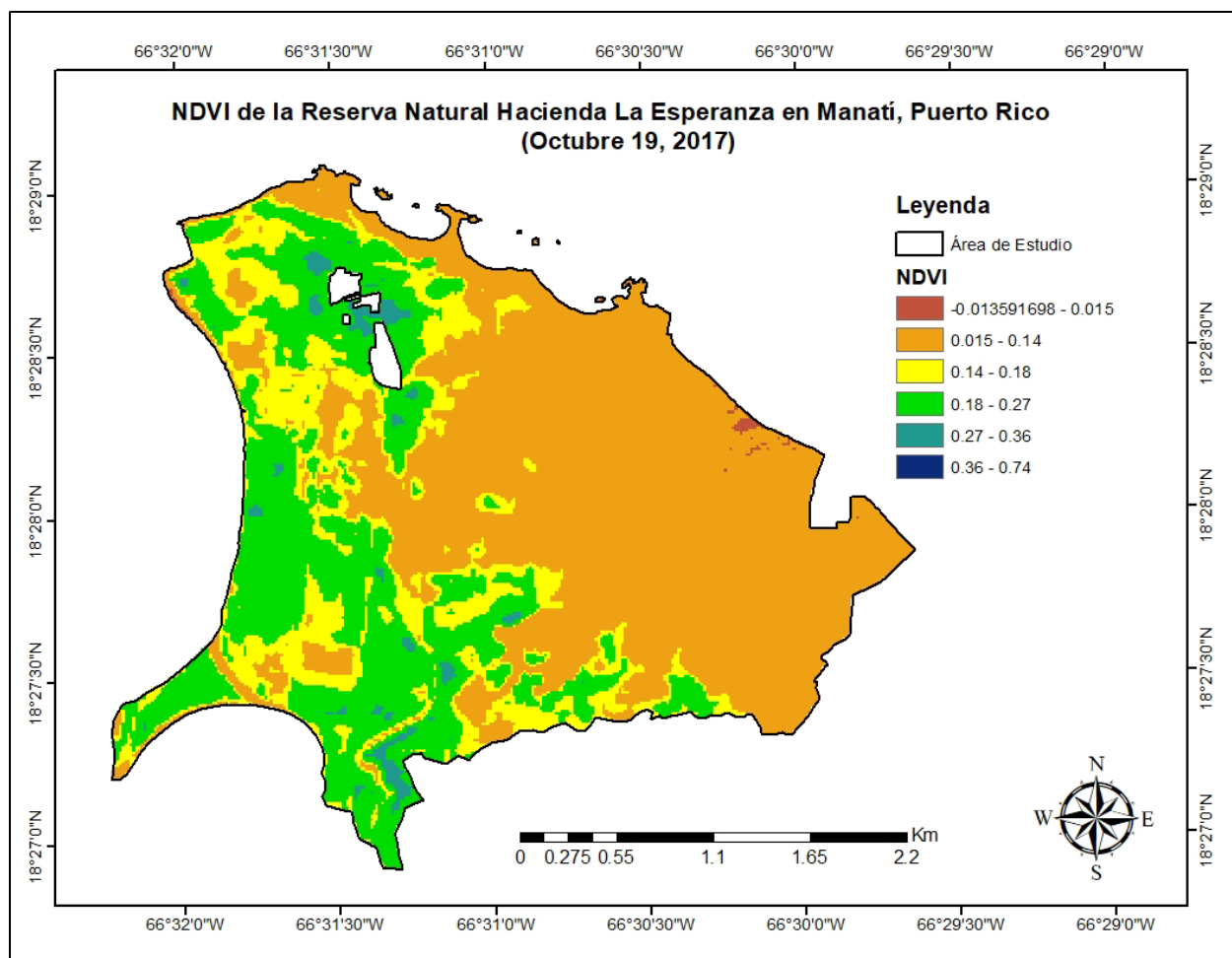


Figura 6. Mapa de los valores de NDVI en La Reserva Natural Hacienda La Esperanza en Manatí luego del Huracán María.

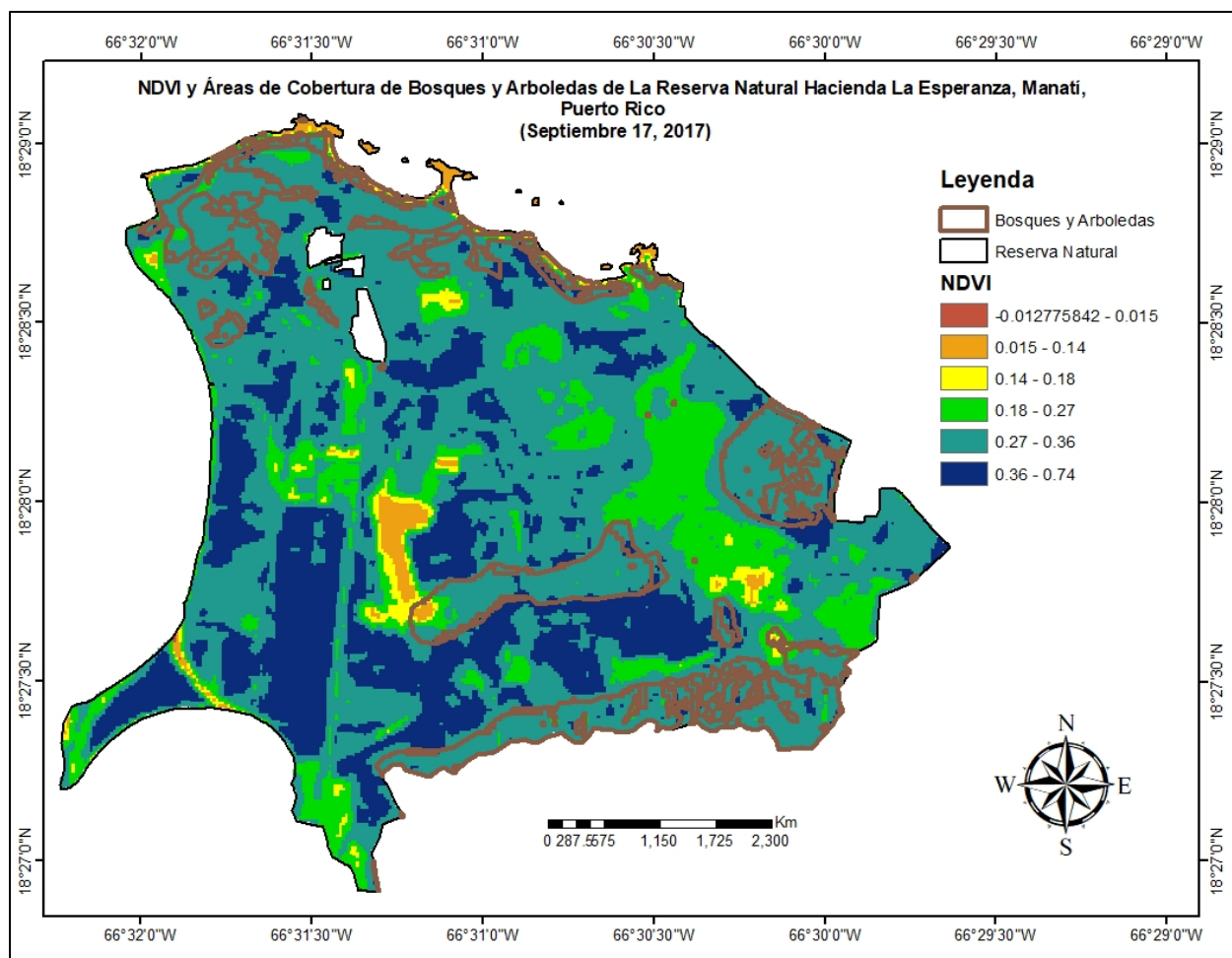


Figura 7. Mapa de los valores de NDVI y Áreas de Cobertura de Bosques y Arboledas en La Reserva Natural Hacienda La Esperanza en Manatí antes del Huracán María.

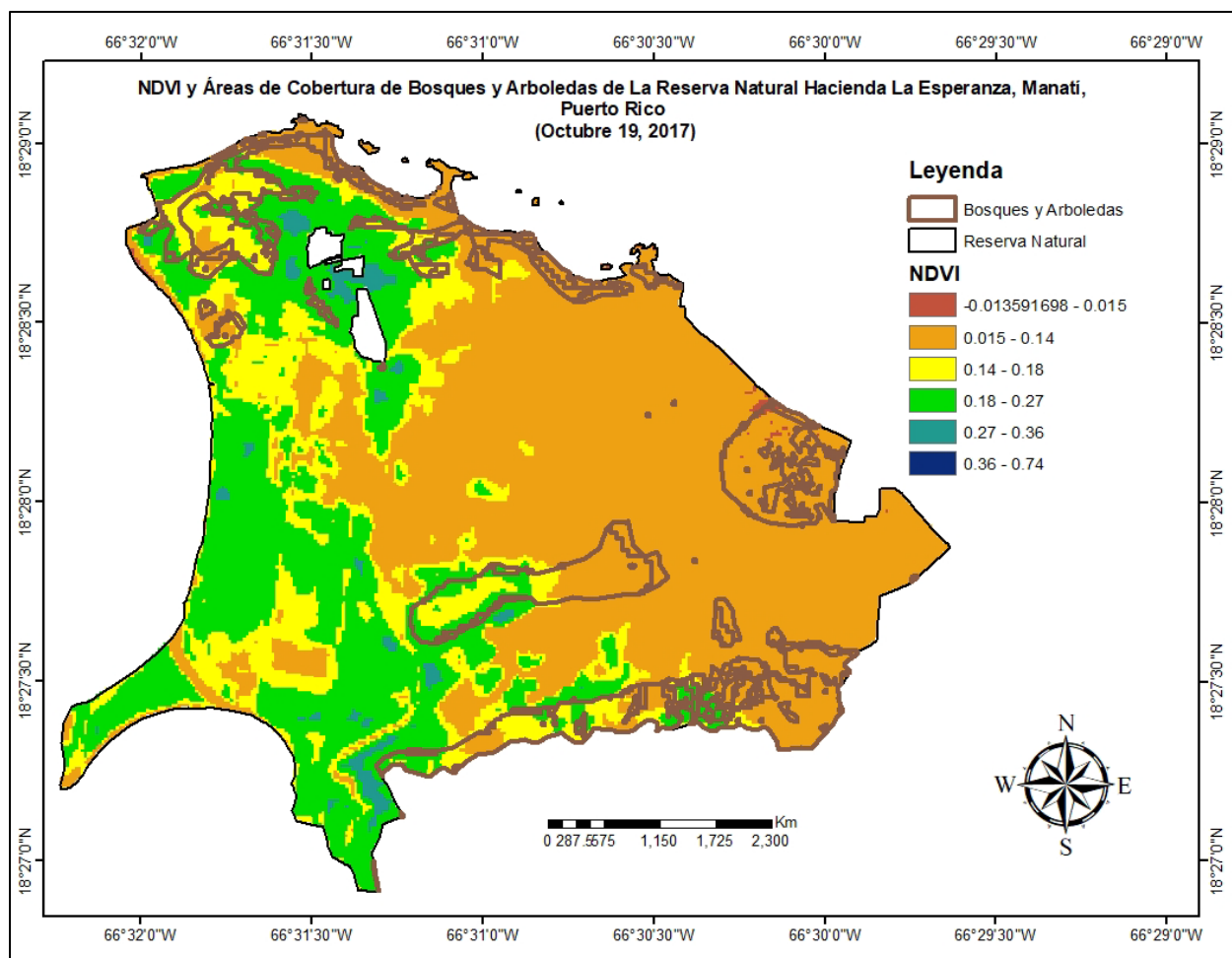


Figura 8. Mapa de los valores de NDVI y Áreas de Cobertura de Bosques y Arboledas en La Reserva Natural Hacienda La Esperanza en Manatí luego del Huracán María.

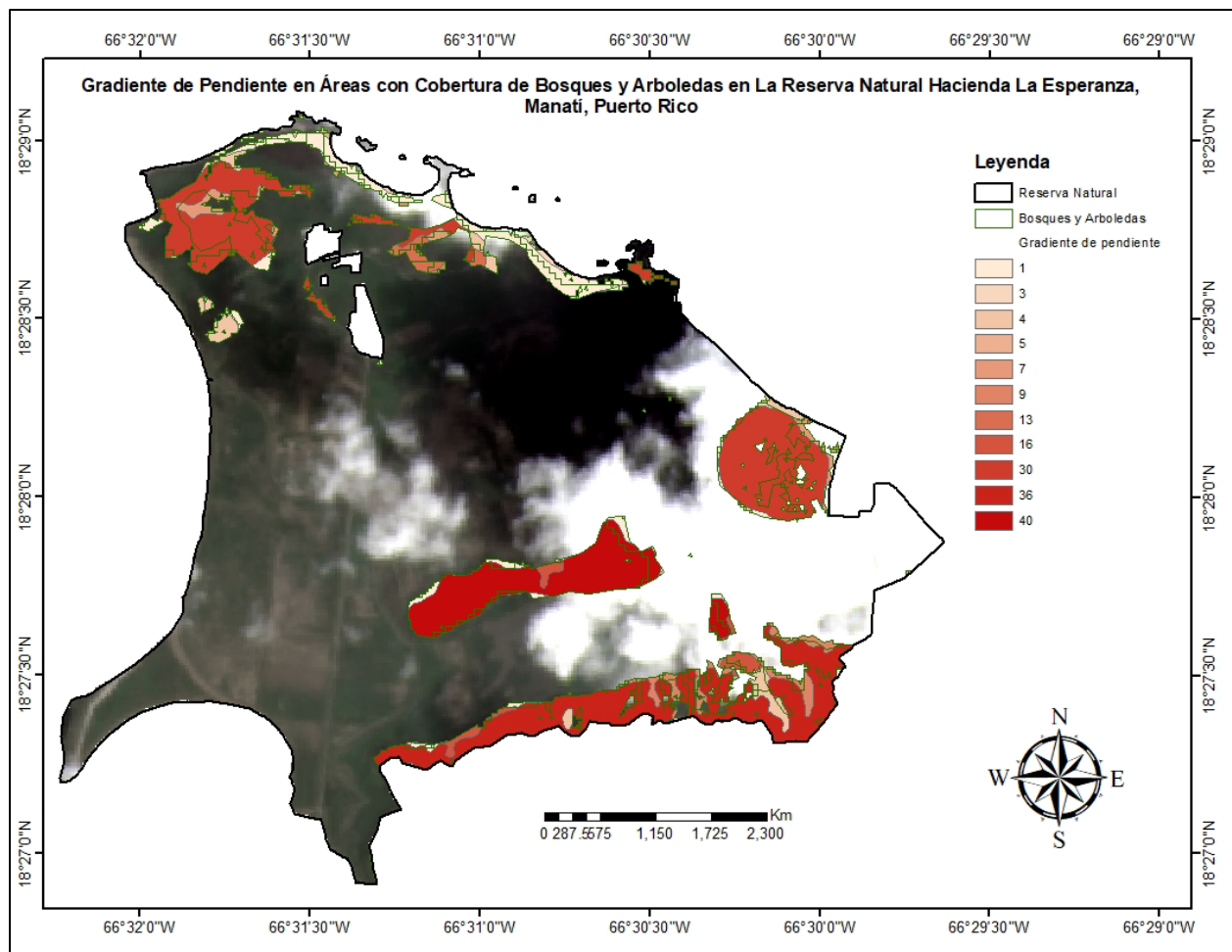


Figura 9. Mapa de Gradiente de Pendiente en lugares de Cobertura de Bosques y Arboledas en La Reserva Natural Hacienda La Esperanza en Manatí.

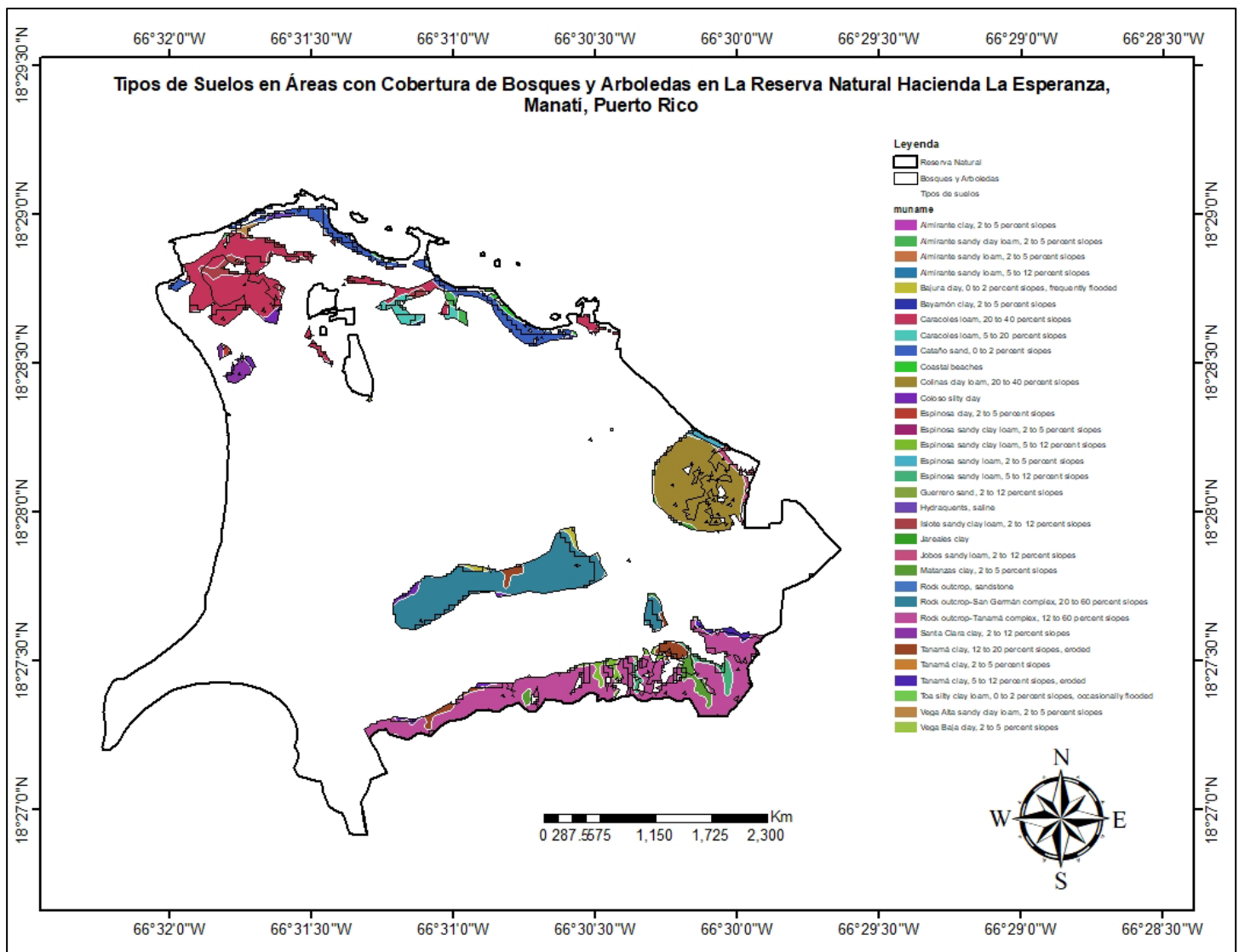


Figura 10. Mapa de Tipos de Suelos de Pendiente en lugares de Cobertura de Bosques y Arboledas en La Reserva Natural Hacienda La Esperanza en Manatí.

Discusión

Una de las limitaciones principales en el procesamiento y análisis de imágenes satelitales ha sido la presencia de nubes al momento de las capturas. Al ser la presencia de nubes bastante común en las áreas tropicales como Puerto Rico, esta fue una de las limitaciones que tuvieron los investigadores en percibir la órbita en su totalidad luego del paso de Huracán María (Metro Puerto Rico, 2017). Es por esto por lo que para la interpretación de los resultados se tomó en cuenta el área este de la reserva en la imagen luego del Huracán María.

La imagen obtenida antes del Huracán María (Figura 2.) no tenía presencia de nubes en el área de la RNHE, en comparación con la imagen obtenida después del huracán (Figura 3.). Se tiene en cuenta que es posible que valores de NDVI se pudieran alterar por el efecto de las nubes en el área este de la reserva (Figura 3.). Sin embargo, utilizando ArcGIS, con 6 clases de escala de NDVI de menos de 0.015 hasta 0.74, con escala de colores claros para los valores bajos y colores más oscuros para ilustrar áreas de mayor NDVI, se pudo observar una diferencia significativa antes y después (Figura 5. y Figura 6.) Utilizando la Tabla 2. de referencia, se puede señalar que antes del huracán (Figura 5.) el área era mayormente de arbustos y pastizales. Mientras, si se observa solo el área oeste de la reserva luego del huracán (Figura 6.), se observa que el área reflejaba ser entre arbustos y pastizales y levemente arbustos y pastizales. Para comprobarlo numéricamente, se hizo una comparación de un área al suroeste de la reserva, escogida por no tener nubes que alteraran el nivel de NDVI, en la imagen del 19 de octubre del 2017 y se confirmó, con 6 puntos escogidos aleatoriamente (Figura 4), un cambio promedio del NDVI de 0.15 antes y después del huracán (Tabla 3.).

Luego de aplicar la capa de cobertura de suelo a los mapas con cálculo de NDVI, se observó que en zonas de Bosques y Arboledas hubo cambios significativos antes y después del Huracán (Figura 7. y Figura 8.). En la capa de suelos aplicada para los lugares de interés, de Bosques y Arboledas se objetivo que de un gradiente de 1-40 de pendiente, la mayoría de los lugares bajo la clasificación de esta cobertura están en un nivel alto (Figura 9.), por lo que habría que evaluar otros factores que delimiten estas zonas como críticas para la reforestación. Por otro lado, se presentó una gran variedad de hasta 33 tipos de suelos en las zonas de coberturas de bosques y arboledas (Figura 10.). Esta variedad de suelos puede explicar la gran diversidad de ecosistemas de la reserva, y por lo tanto la diversidad de especies de árboles posibles a sembrar en cada zona en conjunto con el análisis de otros factores.

Conclusión

Con el mapa del NDVI antes del huracán y la capa de cobertura de Arbustos y Arboledas (Figura 8.) se puede identificar como un área de interés para realizar iniciativas de reforestación en la parte noroeste de la reserva. Sin embargo, se debe tomar en cuenta no solo los tipos de suelos de esta zona (Figura 10) y el gradiente de pendiente (Figura 9), sino además otros factores como humedad del suelo, índice de erosión, etc. para llevar a cabo un análisis multicriterio completo que permita estimar si esta zona y otra área de la reserva se clasifica como área crítica para la reforestación.

Recomendaciones

- Tomar en consideración:
 - ✓ La escala de área de estudio al momento de escoger las imágenes y sensores para el análisis remoto.
 - ✓ Presencia de nubes en imágenes del área de estudio.
- Se recomienda el uso de varias imágenes satelitales en mosaico para minimizar el efecto y/o analizar cómo los mosaicos y los métodos de corrección de nubes, utilizando GIS , pueden alterar los cálculos de NDVI.
- Realizar estudios y observaciones de campo en el área de estudio que complementen y sustenten el análisis remoto.
- Buscar otras fuentes de capas de información confiables y recientes del área a estudiar ya que estas pueden ser limitadas.
- Complementar con información y mapas provistos por el <https://websoilsurvey.sc.egov.usda.gov/App/HomePage.htm>

Referencias

- Akbar, T.A., Q.K. Hassan, S. Ishaq, M. Batool, et al. 2019. Investigative Spatial Distribution and Modelling of Existing and Future Urban Land Changes and Its Impact on Urbanization and Economy. *Remote Sens.* 11: 105
- El Nuevo Día. (2021, May 26). La Deforestación Destruye Los Ecosistemas esenciales. El Nuevo Día. Recuperado el 14 de noviembre, 2021, de <https://www.elnuevodia.com/opinion/editorial/la-deforestacion-destruye-los-ecosistemas-esenciales/>.
- ESRI. (2016). Help. NDVI function-Help | ArcGIS for Desktop. Retrieved December 8, 2021, from <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/ndvi-function.htm>.
- Glorimar, P. R. eB. (2014). The Hacienda La Esperanza Natural Reserve: A sanctuary for the red-breasted Merganser. PR eBird. Retrieved December 8, 2021, from <https://ebird.org/pr/news/the-hacienda-la-esperanza-natural-reserve-a-sanctuary-for-the-red-breasted-merganser>.
- Hacienda La Esperanza: National Trust for Historic Preservation. Hacienda La Esperanza | National Trust for Historic Preservation. (2021). Retrieved December 8, 2021, from <https://savingplaces.org/distinctive-destinations/hacienda-la-esperanza#.YbDasNDMI2w>.
- Hu, T. y R.B. Smith. 2018. The Impact of Hurricane Maria on the Vegetation of Dominica and Puerto Rico Using Multispectral Remote Sensing. *Remote Sensing.* 10: 827.
- Keleş, S., E. Z. Başkent y Alkan Günlü. 2013. Identifying priority areas for reforestation using remote sensing and geographical information systems: A case study from Turkey. *Int. J. Global Warming.* 5 (2): 109-126.
- Metro Puerto Rico. (2017, September 28). NASA Revela Imágenes de La Deforestación de la isla tras maría. Metro. Recuperado el 14 de noviembre, 2021, de <https://www.metro.pr/pr/noticias/2017/09/28/nasa-revela-imagenes-la-deforestacion-la-isla-tras-maria.html>.
- Monjardin, S.A., W. Plata, C.E. Pacheco et al. Geospatial Simulation Model of Deforestation and Reforestation Using Multicriteria Evaluation. *Sustainability.* 12:10387
- NASA. (n.d.). Catalog page for PIA21964. NASA. Retrieved December 8, 2021, from <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA21964>.
- USDA. (n.d.). Natural Resources Conservation Service. La Importancia de los Bosques en Puerto Rico | NRCS Caribbean Area. Retrieved December 8, 2021, from https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/pr/plantsanimals/?cid=nrcs141p2_037292.