

Evaluación de la vegetación y la distribución de briofitas en el Área Natural Protegida Río Maricao bajo el manejo de Para la Naturaleza

Daiza C. Orench Rivera

Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica Aplicados a la Biología

BIOL 5038-080 – Prof. Fernando Gilbes

16 de diciembre de 2025

Introducción

Las briofitas son plantas no vasculares, que incluyen hepáticas (*Marchantiophyta*), antocerotas (*Anthocerophyta*) y musgos (*Bryophyta*). Se diferencian de las plantas vasculares al adquirir agua y nutrientes directamente del ambiente, en lugar de absorberlos a través de raíces. En ecosistemas forestales, contribuyen a la biodiversidad, al ciclo de nutrientes y a la estabilidad del hábitat, y su alta sensibilidad a factores ambientales las hace ideales para monitorear la integridad de los bosques (Slate et al., 2024; Frego, 2007). Lamentablemente, las briofitas no han sido estudiadas a cabalidad en los bosques tropicales de Puerto Rico como indicadores de integridad forestal pese a las históricas perturbaciones naturales y antropogénicas de la región. El Área Natural Protegida Río Maricao (ANP Río Maricao), manejada Para la Naturaleza (PLN), es un bosque secundario en recuperación ubicado en Maricao, al oeste de Puerto Rico. PLN es una organización cuyo objetivo es proteger el 33% de las tierras de Puerto Rico. El área del ANP Río Maricao ha sufrido impactos significativos debido a la agricultura intensiva y la deforestación. Sin embargo, ha experimentado procesos de regeneración natural como consecuencia del abandono de las tierras para el uso agrícola, lo que ha permitido la recuperación parcial de sus ecosistemas (ANP Río Maricao, 2016). Haciéndola así, se crea un lugar ideal para la toma de datos de este estudio. Identificar las especies de briofitas que persisten en la zona permitirá mejorar nuestra comprensión del rol de estas plantas en los bosques del oeste de Puerto Rico.

Este estudio preliminar explorará la distribución de briofitas en el ANP Río Maricao, utilizando herramientas de percepción remota e incorporando datos de campo en el programa *ArcGIS Pro*. El uso de herramientas de percepción remota permite evaluar la cobertura y el vigor de la vegetación, complementando el monitoreo de las briofitas mediante el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés). El NDVI permite estimar el vigor de la vegetación, reconocer diferentes ecosistemas, seguir cambios en el crecimiento de la vegetación y evaluar cuánto dura la temporada de crecimiento o los períodos de sequía, por ejemplo (Gilbes, 2007).

Estudios de comparación entre sensores satelitales antiguos (AVHRR, MODIS, ETM+, MERIS) y modernos como Sentinel-2 demostraron que, con calibración adecuada, es posible mantener la continuidad de las series temporales de NDVI, permitiendo integrar datos históricos y actuales para el análisis de tendencias vegetativas (D'Odorico et.al., 2013). Además, en un estudio realizado por Jiang et al. en 2014, se encontró que modelos que combinan índices de vegetación derivados de satélites (NDVI y NDWI) y variables climáticas mostraron alta precisión en la predicción de la distribución de hepáticas epífitas, evidencian que las briofitas reflejan la

calidad del hábitat a gran escala y pueden funcionar como indicadores de integridad forestal. Comprender la relación entre las briofitas y su entorno proporcionará información crucial para los esfuerzos de conservación y manejo, con el objetivo de restaurar y mantener la integridad del bosque.

Pregunta Científica

¿Cómo ha cambiado la cobertura y el vigor de la vegetación dentro del ANP Río Maricao desde que Para la Naturaleza inició su manejo, y cómo se distribuyen las especies de briófitas en relación con esos cambios?

Objetivos

1. Analizar la variación en la vegetación a través del tiempo utilizando NDVI entre 2015 y 2025
2. Incorporar datos de campo de la distribución de briofitas según el uso del terreno
3. Relacionar los patrones de NDVI con las acciones de manejo y la distribución de briófitas en el área

Metodología

La evaluación de la vegetación y distribución de briofitas en el ANP Río Maricao consistió en una combinación de la implementación de imágenes satelitales con datos de campo de identificación de especies. Para evaluar la vegetación, se utilizaron imágenes satelitales del *Sentinel-2* obtenidas del portal *Copernicus*, correspondientes a los años 2015, 2018, 2020, 2022 y 2025, con el fin de abarcar un período de los últimos diez años, correspondiente al tiempo que lleva la organización manejando el área. Intentando seleccionar las imágenes con la menor presencia de nubes en la zona. Una vez descargadas, las imágenes se recortaron inicialmente (*clip*) a nivel del municipio de Maricao para enfocarse únicamente en la zona de interés y agilizar el tiempo de procesamiento. Posteriormente, se incorporó un *shapefile* del área de estudio.

Con el área de interés recortada, se procedió al cálculo del NDVI utilizando la calculadora *raster* de *ArcGIS Pro* con la siguiente fórmula:

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

Este índice se obtuvo a partir de las bandas 8, infrarrojo cercano (NIR), y 9 rojo (Red) de las imágenes del mencionado satélite. Para facilitar la interpretación visual, al raster de NDVI se le aplicó la simbología de escala de colores *Green-Purple (Diverging)* ya que permite una visualización adecuada de las diferencias de los valores en las imágenes, e igualmente estableciendo valores entre -1 y 1 como los límites de la escala.

En el ANP Río Maricao se identificaron tres mesohábitats de interés: *lawn*, vereda y bosque, clasificados en orden de mayor a menor impacto según el uso actual del terreno. Los mesohábitats evaluados incluyeron *lawn*, caracterizado por un manejo continuo mediante poda constante; vereda, con un manejo limitado al despeje de ramas y poda de una sección fina únicamente para permitir el paso peatonal; y bosque, el cual se ha mantenido intacto desde el abandono previo de las tierras para uso agrícola. Para cada mesohábitat se establecieron dos transectos de 10×2 metros, uno en dirección Norte-Sur y otro en dirección Este-Oeste. La ubicación y determinación de los transectos se realizaron considerando la accesibilidad de la zona, debido a las pronunciadas pendientes del terreno, y asegurando que cada transecto se encontrara al menos a 20 metros de distancia de los límites de los mesohábitats y entre sí. En cada transecto se tomaron colectas de briofitas para su identificación posterior, y se registraron las coordenadas de ubicación utilizando un teléfono con GPS.

Los puntos de muestreo tomados en los transectos se incorporaron dentro de la plataforma de ArcGIS en la imagen del 2025 ya que las tomas de datos fueron realizadas desde junio hasta noviembre de este año.

Resultados y Discusión

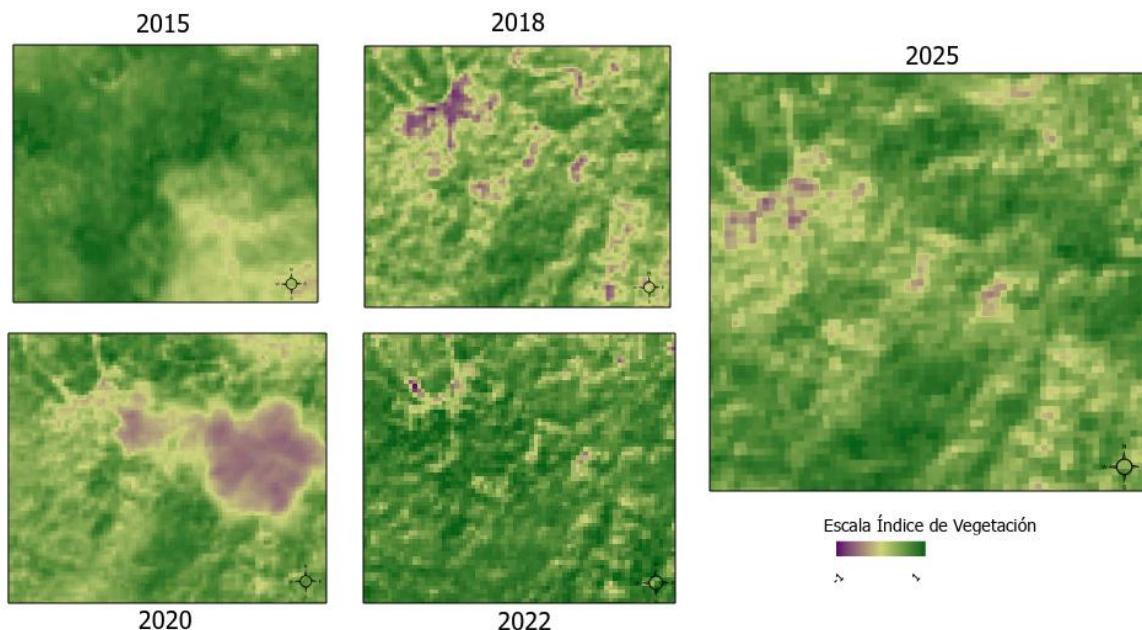


Imagen 1: Comparación temporal de la cobertura vegetal a través de NDVI en el ANP Río Maricao (2015-2025)

La Imagen 1 muestra la comparación temporal de la cobertura vegetal en el ANP Río Maricao utilizando el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para los años 2015, 2018, 2020, 2022 y 2025. Todas las imágenes corresponden a los meses entre septiembre y diciembre de cada año, lo cual permitió una comparación general bajo condiciones estacionales

similares. El análisis de NDVI se realizó de manera cualitativa, interpretando los colores violeta como valores muy bajos de vegetación, que en este caso corresponden mayormente a la presencia de nubes, los colores amarillos como valores intermedios y el verde intenso como áreas con mayor vigor de la vegetación.

A simple vista, no fue posible distinguir claramente los mesohábitats (bosque, vereda y *lawn*) como se tenía previsto inicialmente, lo cual representó una limitación significativa al momento de identificar estas zonas dentro de las imágenes satelitales. Sin embargo, de manera general, se observa que los años 2015 y 2022 presentan un mayor vigor cualitativo de la vegetación en comparación con los otros años analizados, lo que sugiere un aumento de la cobertura vegetal o mejores condiciones ambientales durante esos períodos.

Mesohabitat	Transecto	Longitud	Latitud
Bosque	T-B1	-67.031	18.116
	T-B2	-67.031	18.115
Vereda	T-V1	-67.03	18.116
	T-V2	-67.0533	18.1102
<i>Lawn</i>	T-L1	-67.032	18.111
	T-L2	-67.033	18.111

Tabla 1: Distribución de transectos a través de los mesohábitats

En cuanto al muestreo de campo, se establecieron seis transectos distribuidos entre los tres mesohábitats (Tabla 1). Debido a limitaciones técnicas con el programa ArcGIS, no fue posible solapar correctamente la capa de los transectos con la imagen de NDVI correspondiente al año 2025, ya que se presentaron errores en la ubicación real de los transectos respecto a la posición mostrada en el mapa. Esta situación limitó la comparación directa entre los valores de NDVI y los puntos exactos de muestreo.

Géneros de Briofitas	Bosque	Vereda	Lawn
<i>Calymperes</i>	X		
<i>Cyclodictyon</i>	X		
<i>Lophocolea</i>	X	X	
<i>Lejeunea</i>	X	X	X
<i>Versicularia</i>	X	X	X
<i>Neckeropsis</i>	X	X	
<i>Callicostella</i>	X	X	X
<i>Fissidens</i>	X	X	
<i>Octoblepharum</i>	X		
<i>Taxithelium</i>		X	X
<i>Crossomitrium</i>			X

Tabla 2: Distribución de géneros de briofitas a través de los mesohábitats.

A pesar de estas limitaciones, la distribución de los géneros de briofitas (Tabla 2) mostró patrones claros entre los mesohábitats. Los géneros *Lophocolea*, *Lejeunea*, *Neckeropsis*, *Callicostella* y *Fissidens* se encontraron principalmente en las zonas de bosque y vereda, las cuales

se caracterizan por presentar mayor cobertura vegetal. Estas áreas coinciden, de manera general, con zonas de NDVI cualitativamente alto, lo que sugiere que estos géneros están asociados a ambientes con mayor humedad, sombra y menor nivel de perturbación actual.

Por otro lado, los géneros *Versicularia* y *Callicostella* estuvieron presentes en todos los mesohábitats muestreados, incluyendo el *lawn*, que corresponde al área con mayor impacto por el uso actual del terreno. Esta distribución indica que estos géneros poseen una amplia tolerancia a diferentes condiciones ambientales, permitiéndoles establecerse tanto en áreas con alta cobertura vegetal como en zonas más abiertas e intervenidas.

En general, aunque el análisis de NDVI no permitió diferenciar con claridad los mesohábitats dentro del área de estudio, sí proporcionó un contexto útil para interpretar los patrones observados en el campo. La combinación de imágenes satelitales y datos biológicos permitió identificar tendencias generales en la distribución de briofitas, resaltando la importancia de integrar herramientas de teledetección con muestreos directos para evaluar la cobertura vegetal y la biodiversidad a escala local.

Conclusión

Los resultados preliminares de este estudio evidencian una relación entre la cobertura vegetal, estimada mediante el índice NDVI cualitativamente, y la distribución de los géneros de briofitas dentro del Área Natural Protegida Río Maricao. Los géneros *Lophocolea*, *Leujunea*, *Neckeropsis*, *Callicostella* y *Fissidens* se encontraron principalmente en los mesohábitats de bosque y vereda, los cuales presentaron mayor cobertura vegetal y valores cualitativamente más altos de NDVI, lo que sugiere una preferencia por ambientes con mayor humedad, sombra y menor disturbio. Por otro lado, los géneros *Versicularia* y *Callicostella* estuvieron presentes en todos los mesohábitats evaluados, indicando una amplia tolerancia a distintas condiciones ambientales y diferentes niveles de manejo del terreno.

Como proyección futura, se considera el uso de imágenes obtenidas con drones para lograr una resolución espacial superior que permita distinguir con mayor precisión los mesohábitats. Además, el uso de equipo GPS más adecuado mejoraría la precisión en la ubicación de los transectos, permitiendo el solapamiento entre los datos de campo y el análisis espacial.

Referencias

- D'Odorico, P., Gonsamo, A., Damm, A., & Schaepman, M. E. (2013). Experimental Evaluation of Sentinel-2 Spectral Response Functions for NDVI Time-Series Continuity. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 51(3), 1336–1348.
<https://doi.org/10.1109/tgrs.2012.2235447>
- Frego, K. A. (2007). Bryophytes as potential indicators of forest integrity. *Forest Ecology and Management*, 242(1), 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.01.030>
- Gilbes, F. (2007). Remote sensing of vegetation [Presentación de clase, Cap. 11]. Curso BIOL 5038: Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la Biología, Universidad de Puerto Rico. Basado en: Jensen, J. R. (2007). *Remote sensing of the environment* (2.^a ed.). Pearson Prentice Hall.
- Jiang, Y., Wang, T., De Bie, C., Skidmore, A., Liu, X., Song, S., Zhang, L., Wang, J., & Shao, X. (2013). Satellite-derived vegetation indices contribute significantly to the prediction of epiphyllous liverworts. *Ecological Indicators*, 38, 72–80.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.10.024>
- Management Summary of ANP Rio Maricao. (2026). [Technical Report]
- Matos, C., Merced, A., & Heartsill-Scalley, T. (2024). Habitat preferences and distribution of some common bryophytes in a tropical forest at the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *The Bryologist*, 127(1). <https://doi.org/10.1639/0007-2745-127.1.056>
- Orench Rivera, D., & Merced, A. (2025). *Bryophytes as Indicators of Forest Integrity: The Influence of Past and Present Land Use in Maricao, Puerto Rico* [Propuesta no publicada]. University of Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez.