

Integración de datos de Campo y Sistemas de Información Geográfica en la visualización de Índices de cobertura vegetal y humedad en Cerro Cuevas, Juana Diaz/Villalba, Puerto Rico.

Torres Rivera, A.M.

*Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez, Call Box 9000 Mayagüez, PR 00681-9000,
alexis.torres19@upr.edu*

Resumen:

Los Opiliones son arácnidos nocturnos con gran diversidad de especies, generalmente asociados a vivir en ambientes húmedos con alta cantidad de vegetación y pocos disturbios antropogénicos, donde actúan como bioindicadores de la salud de un bosque; sin embargo, estas características no son observadas en el área de Cerro Cuevas Juana Díaz/Villalba, el cual cuenta con un ambiente seco de poca humedad y se han registrado avistamientos de Opiliones en las cuevas del área. Es por tanto que este proyecto busca encontrar una correlación entre las cualidades de las entradas de las cuevas y áreas del bosque similares que puedan servir de refugio para las especies, utilizando los índices de vegetación NDVI y SAVI y un índice de humedad de NDMI. Los resultados muestran que, aunque no se pudo establecer la relación de las cuevas y espacios parecidos debido a la resolución espacial, el área presenta zonas de baja cobertura vegetal, correspondiente a canteras, carreteras y edificaciones, gran parte de Cerro Cuevas mantiene valores altos de vegetación y humedad relativa media.

Palabras Claves: Cobertura vegetal, Humedad, ArcGIS, Opiliones, Puerto Rico, Sentinel-2

Introducción:

Los Opiliones son un grupo de arácnidos nocturnos caracterizados por tener un cuerpo fusionado a diferencia de las arañas, careciente de órganos productores de seda y glándulas venenosas, pertenecientes al orden Opiliones, el cual se considera uno de los grupos de arácnidos más diversos y antiguos contando con más 6,000 especies en el mundo y habiendo récord fósil de Opiliones de hace más de 400 millones de años (Pinto-da-Rocha et al. 2007). Los mismos son omnívoros oportunistas carroñeros, por lo que se alimentan de otros animales vivos o muertos o de materia vegetal y esto lo hacen por forrajeo activo o caza y se pueden encontrar en ambientes húmedos tales como bosques en donde viven en el sotobosque debajo de piedras, troncos, hojarasca, abrigos rocosos y algunos ejemplares en cuevas y vegetación (Pinto-da-Rocha et al. 2007). También son considerados como bio-controladores, alimentándose de insectos y otros invertebrados que se consideran plagas y también se consideran bioindicadores de la salud del bosque, ya que los Opiliones responden negativamente a lugares con muchos disturbios antropogénicos. Dado que la humedad y la temperatura son los factores que más influye en la diversidad de especies de opiliones, es común encontrar Opiliones en bosques y áreas donde haya mucha vegetación y humedad (Pinto-da-Rocha et al. 2007). En Puerto Rico hay alrededor de 12 especies descritas de Opiliones divididos en 5 familias distintas encontrados alrededor de la mayoría de los bosques de la Isla (Joglar et al. 2014). En este contexto, la mayoría de los lugares en donde se han reportado o avistado estas especies, han sido en bosques con las características previamente discutidas, tales como los bosques y reservas naturales de Puerto Rico como Carite, el Yunque, Maricao, Mata de Plátano, Toro Negro, etc. Sin embargo, hay sus excepciones, en donde se han podido avistar Opiliones en lugares donde no hay mucha humedad

como lo es el caso de Cerro Cuevas en el pueblo de Juana Díaz/Villalba. Cerro Cuevas es un grupo de montañas en la zona norte de Juana Díaz en colindancia con Villalba donde, como bien indica su nombre, se encuentran un gran número de cuevas. El terreno del área de Cerro Cuevas es uno bastante difícil de navegar, debido al alta temperatura del lugar, vegetación hostil como arbustos y enredaderas espinosas, piedras cortantes y varios sumideros y cavernas en el suelo (Cruz & Díaz, 2011) que podrían pasar desapercibidos, este también cuenta con 3 canteras de las cuales 1 de ellas está abandonada y las otras dos aún siguen operando por lo que se debe de tener mucho cuidado por las detonaciones de dinamita. Aun habiendo todas estas características para que este bosque sea considerado un lugar no favorable para la presencia de Opiliones, se han podido encontrar especies de Opiliones en las Cuevas del Cerro. De modo que parte de las dudas que se desean aclarar es, si estos animales son obligatorios a vivir en cuevas, o si hacen uso de todos los recursos del bosque como lo hacen las demás especies de Opiliones en Puerto Rico. Para esto se desea poder visualizar las zonas con mayor densidad de vegetación y humedad y correlacionarlas utilizando los siguientes índices “Normalized Difference Vegetation Index” (NDVI), “Soil Adjusted Vegetation Index” (SAVI) y “Normalized Difference Moisture Index” (NDMI). Igualmente se propone evaluar cómo se relacionan las entradas de las cuevas con los valores de NDVI, SAVI y NDMI aliado de la integración de datos de campo con percepción remota para elaborar mapas, delimitar el área de estudio y representar los índices de vegetación y humedad en Cerro Cuevas. En este contexto, se propuso la hipótesis de que mediante el uso de los índices espectrales NDVI, SAVI y NDMI, se espera identificar valores más elevados de vegetación y humedad en las coordenadas correspondientes a las entradas de las cuevas, en comparación con las zonas circundantes.

Metodología:

Se empleó una metodología basada en la integración de datos satelitales y de campo, iniciando con la extracción de una imagen multiespectral del sensor Sentinel-2 desde Copernicus Data Space Ecosystem, en donde hubiera poca o ninguna cantidad de nubes para el área de Cerro Cuevas, Juana Díaz Puerto Rico; la misma fue del 14 de noviembre de 2025. Luego se incorporaron los puntos de coordenadas provenientes de datos de campo los cuales correspondían a las entradas de las cuevas visitadas Cueva Bárbara, Cueva Naranjo y Cueva Tanti. Para esto se realizó una tabla de Excel la cual contenía las coordenadas, descripción y categorías la cual fue importada al programa de ArcGIS Pro e interpolada con la imagen satelital. La imagen fue colocada a ArcGIS Pro y se procedió hacer un “Subset” de bandas para extraer las bandas B2, B3, B4, B8 y B11 y guardadas como archivo TIFF para luego ser utilizadas.

NDVI

Para poder tener una visualización de cobertura vegetal en el área de estudio se utilizó la herramienta de “Raster Función” de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), la cual hace utilización de las bandas B8 y B4 utilizando la fórmula de Rouse (1974):

$$NDVI = (B8 - B4) / (B8 + B4) \quad (\text{Donde B4: Rojo y B8: NIR})$$

Al cual luego se le cambio la paleta de colores para representar los cambios de vegetación.

SAVI

Posteriormente se realizó el análisis de cobertura vegetal ajustado al suelo utilizando la fórmula de Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) para lograr visualizar la cobertura vegetal tomando en consideración el factor suelo utilizando la fórmula de Huete (1988):

$$\text{SAVI} = L + 1 * ((B8 - B4) / (B8 + B4 + L)) \quad (\text{Donde } L: 0.428)$$

Al cual se le cambio la paleta de colores para representar los cambios de vegetación.

NDMI

Para poder visualizar la cantidad de humedad que había en el área se implementó la fórmula de Normalized Difference Moisture Index (NDMI), utilizando la fórmula de Gao (1996):

$$\text{NDMI} = (B8 - B11) / (B8 + B11) \quad (\text{Donde } B11: \text{SWIR})$$

Al cual se le cambio la paleta de colores para representar los cambios en humedad.

Por último, se elaboraron mapas para cada uno de los índices anteriormente mencionados, integrando todos los elementos básicos que debe tener un mapa como título, escala, leyenda, norte y cuadrícula, asegurando una representación clara y útil para la interpretación de los datos. Los mapas fueron exportados en formato JPEG.

Resultados:

Siguiendo los métodos previamente explicados se elaboraron los siguientes mapas para el área de estudio de Cerro Cuevas en Juana Díaz, utilizando el programa de ArcGIS Pro y la imagen satelital del sensor Sentinel-2 de la fecha del 14 de noviembre del 2025. En la **Figura 1** se observa delineado de rojo el área que compone Cerro Cuevas utilizando la página de Google Earth, y en la **Figura 2** se visualiza en color real con el sensor Sentinel-2 el conjunto de montañas y valles que compone Cerro Cuevas en Juana Díaz, con marcadores donde se encuentran las Cuevas Bárbara, Naranjo y Tanti. En la **Figura 3** se observa el NDVI del área de estudio con las cuevas marcadas donde la mayor parte de la montaña presenta gran cobertura de vegetación representado por los colores verde oscuros y verde intenso, donde las áreas con poca o ninguna cobertura vegetal, presentan colores amarillos, hasta anaranjados y marrón que representan las áreas de las canteras, carreteras y estructuras. En la **Figura 4** se observa el SAVI del área de estudio con las cuevas marcadas donde al igual que en la Figura 3 presenta gran parte de la montaña cubierta de vegetación representado por los colores verde oscuros y verde intenso, donde las áreas con poca o ninguna cobertura vegetal, se ven de color amarillo y anaranjados. Por último, en la **Figura 5** se observa el NDMI del área de estudio donde se puede observar por colores verdes intensos niveles de humedad más alto y las áreas esparcidas de amarillo, anaranjado y blanco como áreas de poca humedad.

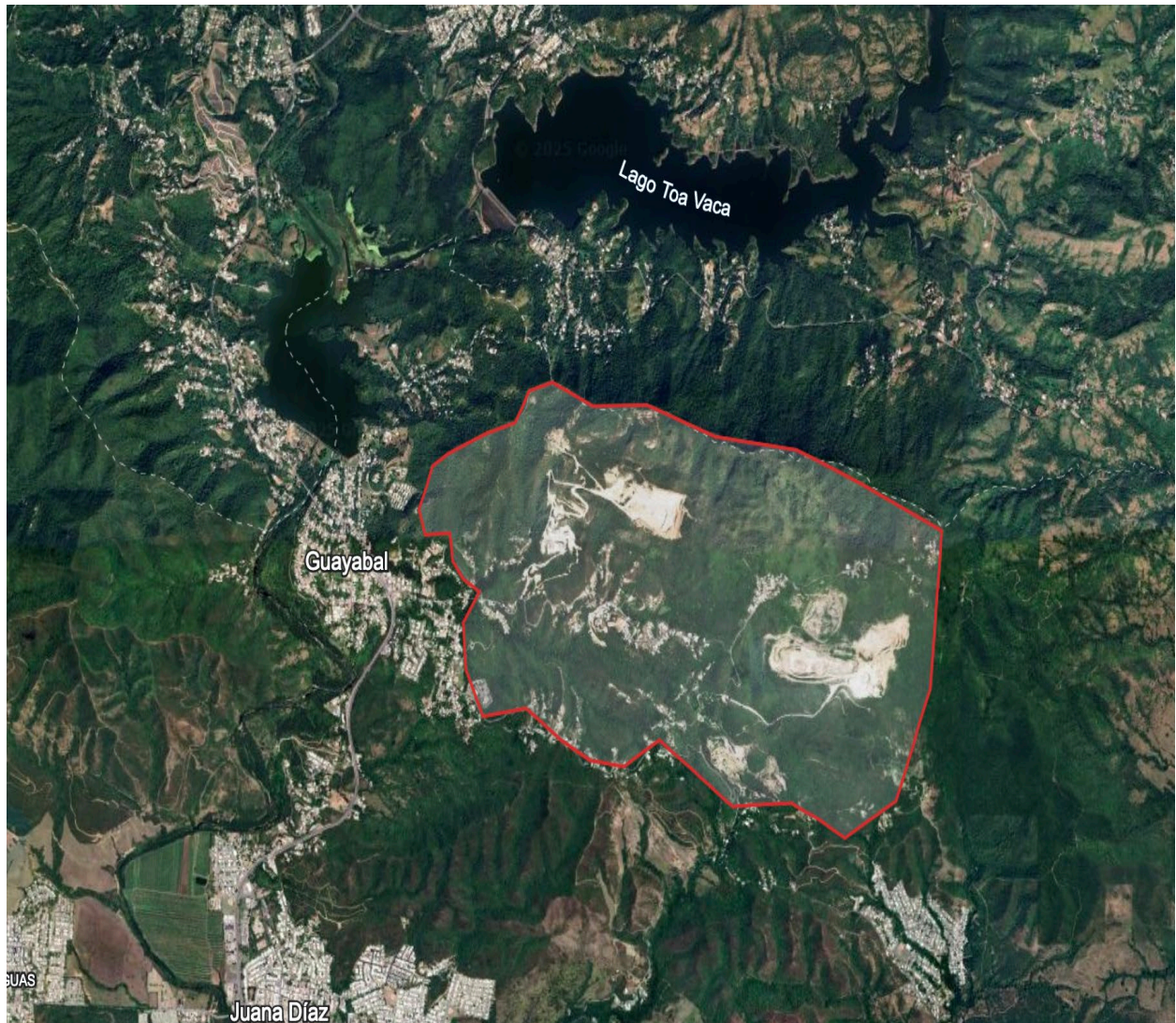


Figura 1. Área de estudio delimitada, Cerro Cuevas, Juana Díaz/Villalba, Puerto Rico. Sacada de Google Earth.

Cerro Cuevas Juana Diaz, Puerto Rico.

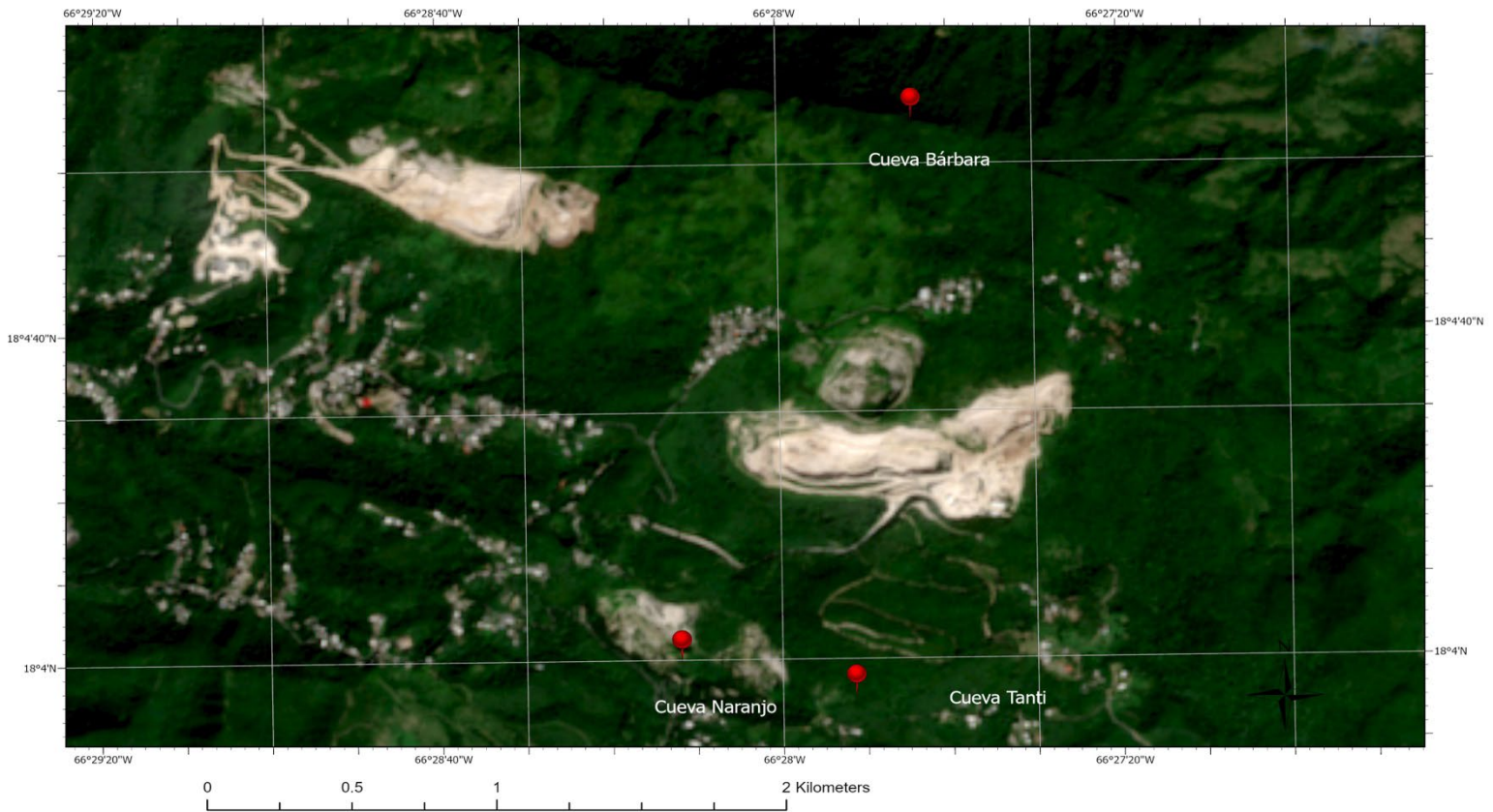


Figura 2. Imagen multiespectral satelital del área de estudio, Cerro Cuevas, Juana Diaz/Villalba, Puerto Rico. Sacada de Copernicus Sensor Sentinel-2 del 14 de noviembre 2025 con puntos de coordenadas para las entradas de Cueva Bárbara, Cueva Naranjo y Cueva Tanti.

NDVI Cerro Cuevas Juana Diaz, Puerto Rico.

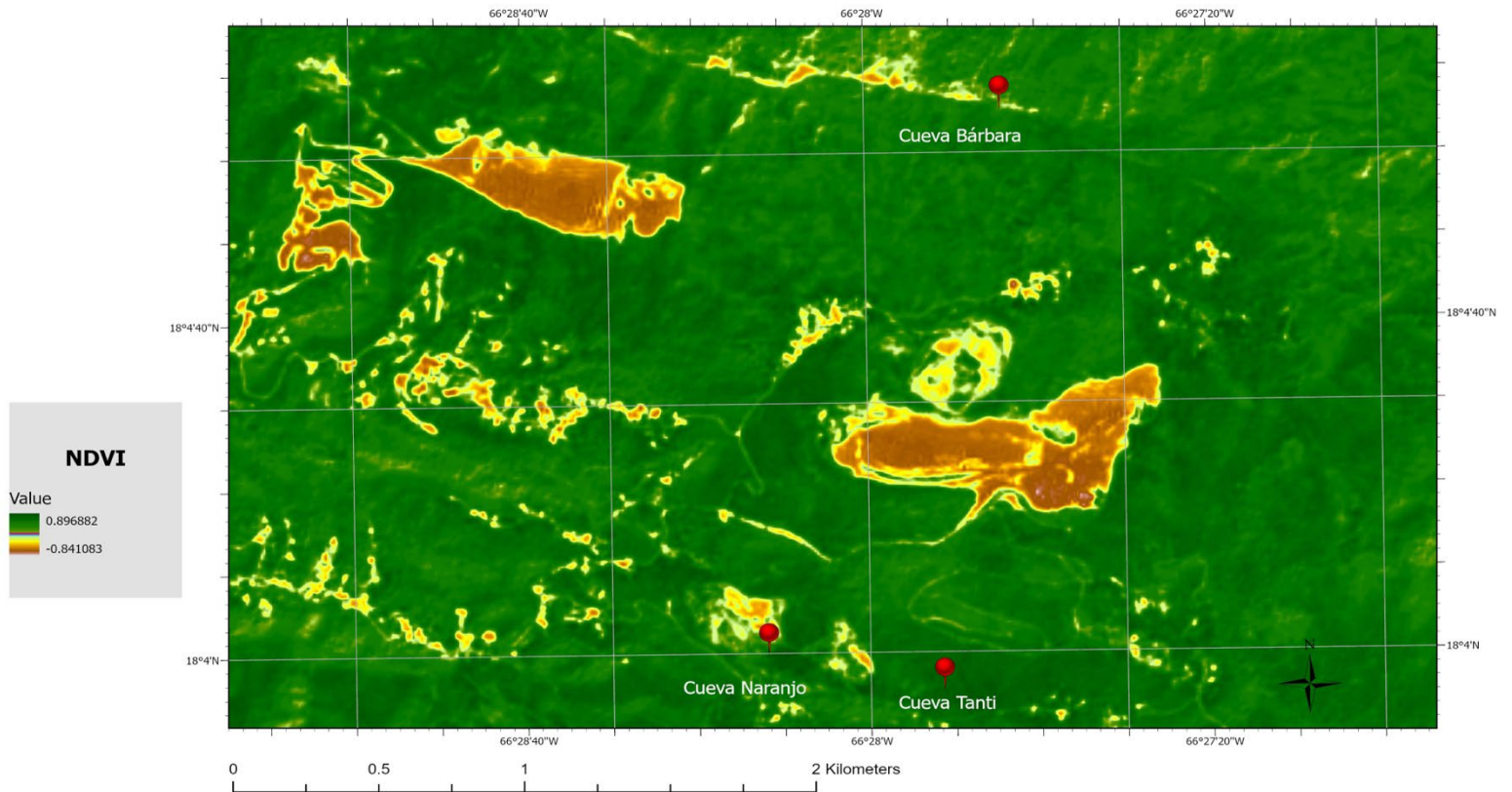


Figura 3. NDVI del mapa de Cerro Cuevas, Juana Diaz/Villalba, Puerto Rico. Sacada de Copernicus Sensor Sentinel-2 del 14 de noviembre 2025 con puntos de coordenadas para las entradas de Cueva Bárbara, Cueva Naranjo y Cueva Tanti.

SAVI Cerro Cuevas Juana Diaz, Puerto Rico.

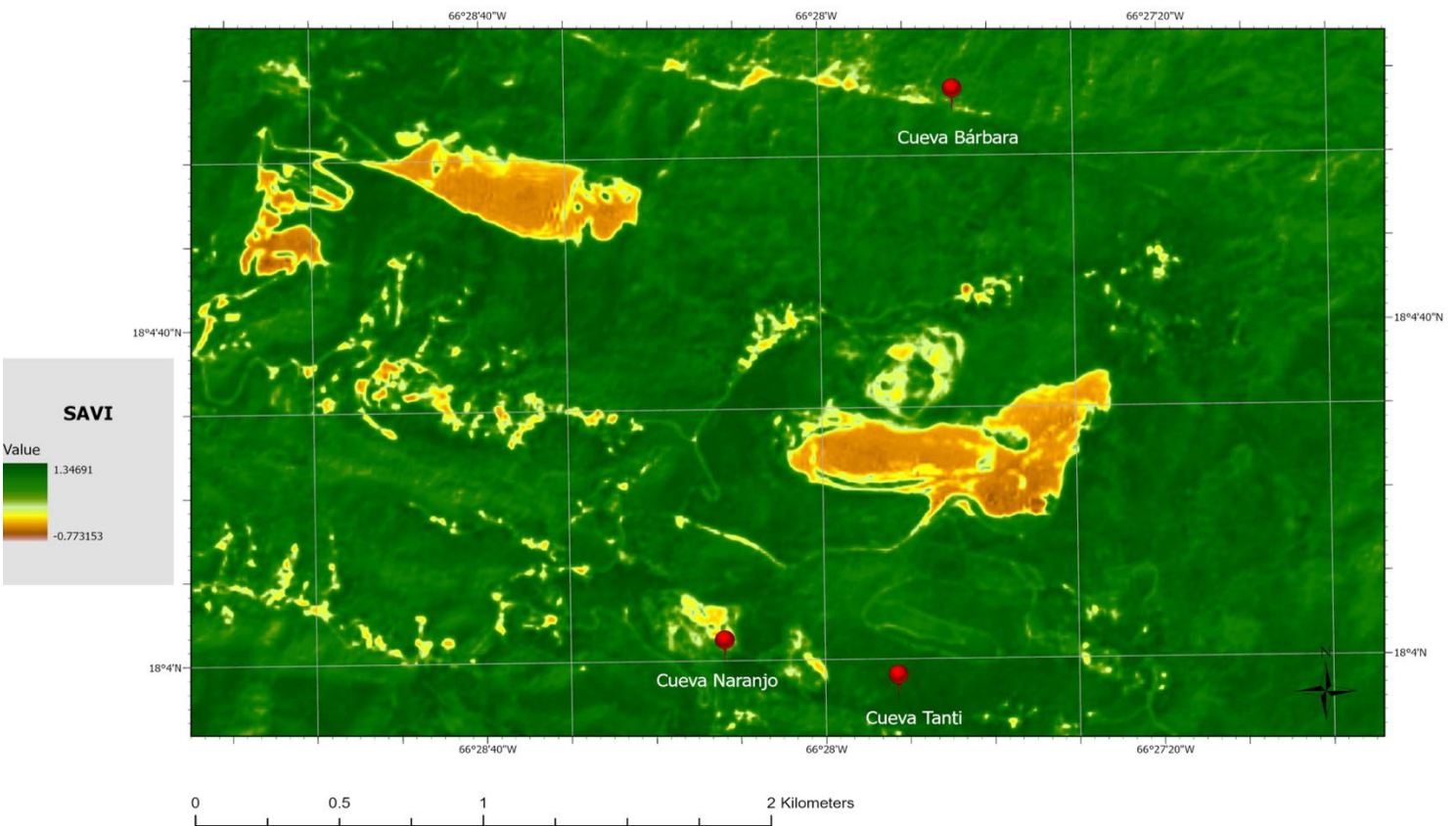


Figura 4. SAVI del mapa de Cerro Cuevas, Juana Diaz/Villalba, Puerto Rico. Sacada de Copernicus Sensor Sentinel-2 del 14 de noviembre 2025 con puntos de coordenadas para las entradas de Cueva Bárbara, Cueva Naranjo y Cueva Tanti.

NDMI Cerro Cuevas Juana Diaz, Puerto Rico.

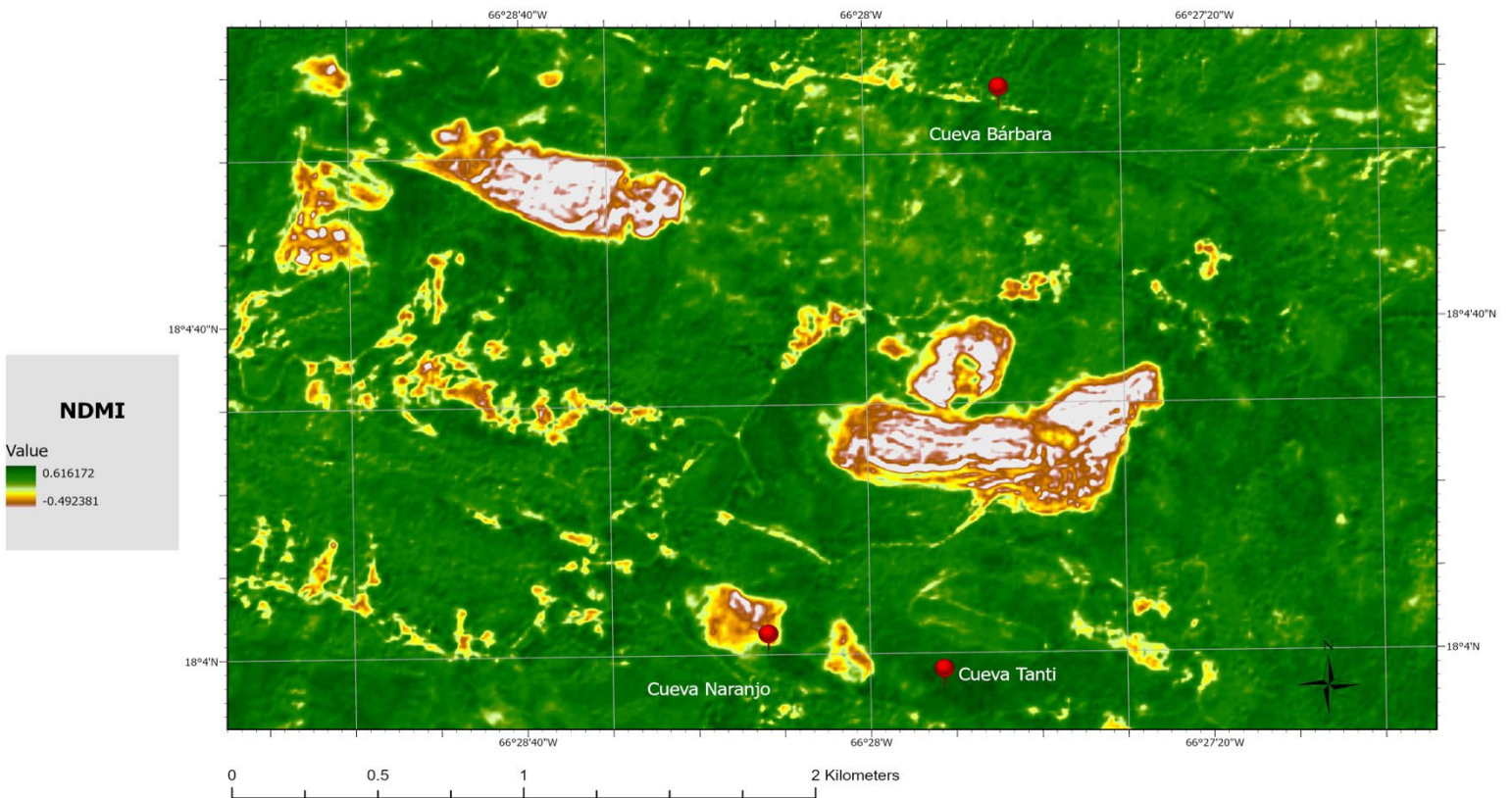


Figura 5. NDMI del mapa de Cerro Cuevas, Juana Diaz/Villalba, Puerto Rico. Sacada de Copernicus Sensor Sentinel-2 del 14 de noviembre 2025 con puntos de coordenadas para las entradas de Cueva Bárbara, Cueva Naranjo y Cueva Tanti.

Discusión:

Tras la implementación la imagen satelital de Sentinel-2 se llegó a elaborar exitosamente un mapa del area de estudio interpolando correctamente los datos de campo de los puntos de coordenadas de las entradas de las cuevas para Cerro Cuevas, completando uno de los objetivos principales del proyecto. Sin embargo, hubo varias limitaciones presentes en el mismo, como la resolución espacial del Sensor la cual era de 10mx10m por lo que no se pudo realizar la comparación de las áreas con características similares a las entradas de las cuevas, ya que no se pudo ni tan siquiera ver diferencias significativas en la montaña, con excepción a las canteras, carreteras y edificaciones (**Figura 3, 4 y 5**). En la **Figura 3 y 4** se observa que la vegetación para el area de cerro cuevas cuenta con alta cobertura vegetal, demostrado por el color verde oscuro e intenso, excepto en las áreas descubiertas de vegetación, como anteriormente mencionado, corresponden a las canteras y estructuras humanas con coloración amarilla a anaranjado y marrón; cabe recalcar que en la **Figura 4** la leyenda de SAVI llega a valores por encima del 1, lo cual se debe a un error en la automatización de ajuste de escala de ArcGIS Pro, lo cual no afecta los datos cualitativos del mapa. En la **Figura 5** se puede observar la humedad del area de manera exitosa, presentando parchos de áreas con menor humedad en la parte central entre las canteras, los cuales a simple vista no pueden ser visualizados ni en color real ni en los mapas de NDVI y SAVI.

Para obtener una mejor recopilación de resultados, podría implementarse el uso de equipos más sofisticados y específicos para la medición de la humedad, como estaciones fijas de monitoreo en campo instaladas durante un periodo de un año, lo que permitiría analizar las variaciones entre las diferentes épocas del año. Esto podría complementarse con la visualización de mapas de índices espectrales como NDVI, SAVI y NDMI en distintas fechas a lo largo del año. Asimismo, sería recomendable utilizar imágenes aéreas o captadas mediante drones para lograr una mayor resolución espacial del área de estudio y, de esta manera, cumplir con el objetivo de establecer una relación entre las características de las entradas de las cuevas y otras zonas del bosque. También se podría utilizar un sensor satelital de mayor resolución, como el GeoEye-1 de Maxar, que cuenta con una resolución espacial de 1.65 m.

Conclusión:

Tras la implementación del uso de imágenes satelitales con las herramientas de ArcGIS Pro fue posible visualizar la cobertura vegetal y la humedad del área a gran escala, sin embargo, no se logró establecer una correlación clara entre las características de las entradas de las cuevas y las zonas con propiedades similares identificadas en los mapas generados. Este resultado se vio influenciado por las limitaciones de resolución de Pixel del sensor utilizado. Se recomienda que futuras investigaciones incorporen el uso de drones u otros sensores para obtener imágenes de mayor detalle, así como la integración de datos provenientes de estaciones de humedad instaladas directamente en el campo, con el fin de mejorar la precisión y la capacidad de análisis.

Agradecimientos:

Se extiende un agradecimiento al Profesor Fernando Gilbes Santaella por su guía, profesionalismo y apoyo durante el transcurso del semestre, se agradece de igual manera al Departamento de Biología de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez por habilitar el espacio y los recursos para poder aprender y utilizar los programas de Sistemas de Información Geográfica utilizados. Por último, se les agradece enormemente a los compañeros de clase y colegas de escuela graduada, con los que elabore todos los proyectos de GIS y brindaron consejos e ideas para poder elaborar los proyectos adecuadamente.

Referencias:

Alequín Otero, W. N. (2021). Moisture mapping of the Puerto Rico western area using Landsat data (Unpublished manuscript). University of Puerto Rico–Mayagüez. Retrieved from https://www.uprm.edu/gerslab/wp-content/uploads/sites/214/2025/10/Alequin_2021.pdf

Badrul Hisham, N. H., Hashim, N., Mohamed, N. S., & Talib, N. (2022). Monitoring of rice growth phases using multi-temporal Sentinel-2 satellite image. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1051(1), 012021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1051/1/012021>

Bo-cai Gao, (1996) NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, Volume 58, Issue 3, Pages 257-266, ISSN 0034-4257, [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3).

Cruz Rodríguez, C. A., & Díaz Pérez, J. M. (2011). *Sinopsis del Cerro Cuevas en Juana Díaz*. En **D. M. Hernández & T. E. Miller (Eds.)**, *Espeleorevista Puerto Rico* (núm. 5, pp. 4-7). Federación Espeleológica de Puerto Rico. https://cuevaspr.org/revista_espeleologica/espeleorevista_puerto_rico_num_5.pdf

F. Trevisiol, P. Mattivi, E. Mandanici and G. Bitelli, "Cross-Sensors Comparison of Popular Vegetation Indexes From Landsat TM, ETM+, OLI, and Sentinel MSI for Time-Series Analysis Over Europe," in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 62, pp. 1-16, 2024, Art no. 4400616, doi: 10.1109/TGRS.2023.3343071.

Gao, B.-C. (1996). *NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space*. **Remote Sensing of Environment**, **58**(3), 257–266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)

Huete, A.R., 1988: A Soil-adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3): 295–309. DOI: [10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)

Joglar, R. L.; Santos Flores, C. J.; Torres Pérez, J. L. (2014). Biodiversidad de Puerto Rico: Invertebrados. Proyecto Coquí, Puerto Rico, 568pp.

Pinto-da-Rocha, Ricardo; Machado, Glauco; and Giribet, Gonzalo, "Harvestmen: The Biology of Opiliones" (2007).

Opiliones. Opiliones - an overview | ScienceDirect Topics. (n.d.). Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/topics/immunology-and-microbiology/opiliones>

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. En **S. C. Freden, E. P. Mercanti, & M. Becker (Eds.)**, *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*(Vol. 1, pp. 309–317). NASA.

Strashok, Oleksandra & Ziemiańska, Monika. (2022). Evaluation and Correlation of Sentinel-2 NDVI and NDMI. *Journal of Ecological Engineering*. 23. 212-218. 10.12911/22998993/151884.