



University de Puerto Rico at Mayagüez
Facultad de Artes y Ciencias
Departamento de Geología



**Aplicando ArcGIS Pro para observar los municipios susceptibles a deslizamientos de tierra
en Puerto Rico**

Giancarlo Ortiz Jones

Irene M. Mendez Curbelo

Viridis Miranda Berrocales

GEOL6991-080

Prof. Fernando Gilbes Santaella

Introducción

Los deslizamientos de tierra son eventos geomorfológicos que ocurren cuando el sedimento, las rocas y los escombros se desprenden o desestabilizan del terreno, resultando en un descenso de sedimento y material vegetativo por los relieves del paisaje. Los deslizamientos pueden medirse a una tasa de pulgadas por año o de miles de escombros moviéndose miles de millas. Los deslizamientos pueden ocurrir a causa de una tormenta, meteorización de ciertos materiales, erosión costera, diferencia en permeabilidad, causas morfológicas tales como erosión, meteorización física, tormentas y procesos tectónicos. Además, pueden ocurrir por causas humanas tales como deforestación, minerías y sistemas de irrigación.

El deslizamiento se caracteriza por tener un “crown”, “head” y “toe” (**Figura 1**). La parte de arriba que comienza el deslizamiento en el cual se llama corona o “crown” viene después del precipicio o cambio de relieve. El pie o “toe” es cuando se observa la ruptura de la superficie. También, un deslizamiento se categoriza por cambios en la pendiente. Hay diferentes tipos de deslizamientos como: “Rotational and translational landslide”, “Block slide”, “Rockfall”, “Topple”, “Debris Flow”, “Debris Avalanche”, “Earthflow”, “Creep” y “Lateral spread” (**Figura 2**) (U.S. Geological Survey, 2004, Landslide types of processes fact sheet 2004-3072). “Rotational landslide” es un deslizamiento donde la superficie de ruptura va de manera cóncava hacia arriba, mientras que los “Translational slide” son deslizamientos que se mueve de forma plana con un poco de rotación. El “block slide” es un subtipo de “translational slide” donde el deslizamiento se mueve como una masa coherente. Los “Rockfalls” son deslizamientos llenos de sedimento y rocas que están inestables por causa de que la materia se encuentra en un precipicio. “Topples” son deslizamientos que tiene un eje de rotación y la fuerza de gravedad actúa sobre el sedimento y las rocas.

Los flujos se clasifican en distintos subtipos como “debris flow” que combina roca, suelo, materia orgánica, aire y agua. “Debris Avalanche” es un subtipo de “debris flow” y lo caracteriza la velocidad rápida del deslizamiento. Estos componentes causan que el deslizamiento baje por la pendiente. El “earthflow” contiene material de sedimento fino, rocas ricas en arcillas, y flujos de material granular. “Creep” es un deslizamiento que se caracteriza por tener un movimiento lento y por la deformación causada por la fuerza de cizalla “shear stress”. Cada deslizamiento se subdivide en “seasonal”, “continuous”, y “progressive”. Un “seasonal creep” se distingue por los cambios en humedad, mientras que un “continuous creep” se clasifica como un deslizamiento que donde la fuerza de cizalla aumenta progresivamente. Finalmente, “lateral spread” se clasifica como un deslizamiento que tiene una pendiente suave (**Figura 2**) (U.S. Geological Survey, 2004, Landslides types of processes fact sheet 2004-3072).

El 20 de septiembre de 2017 el Huracán María cruzó por la isla de Puerto Rico como un ciclón tropical de categoría 4, desencadenando así más de 70,000 deslizamientos de tierra. Además, se registró 26.7 pulgadas de lluvia en 24 horas, convirtiendo este ciclón en el evento atmosférico que más lluvia descargó durante este periodo, lo que contribuyó a la alta tasa de deslizamientos. Este proyecto busca identificar los tres municipios donde ocurrieron la mayor cantidad de deslizamientos de tierra y los 3 municipios menos propensos a estos eventos geomorfológicos.

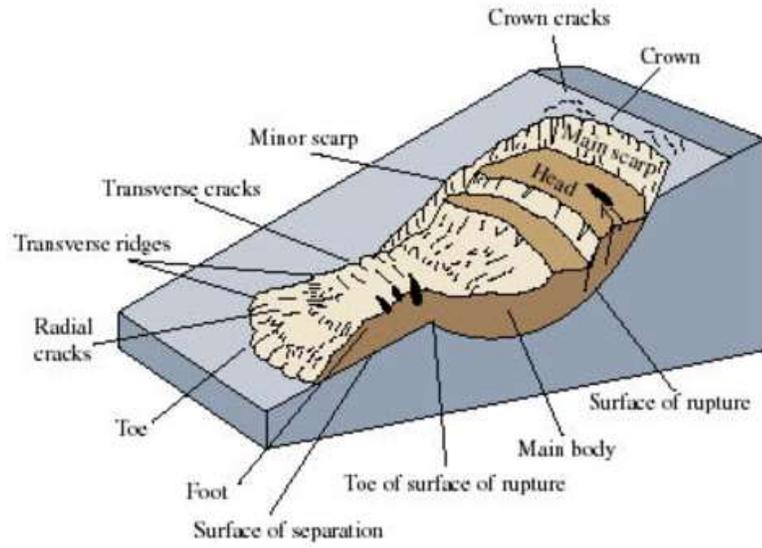


Figura 1. Las partes fundamentales que componen un deslizamiento (U.S. Geological Survey 2044, Landslides types of processes fact sheet 2004-3072).

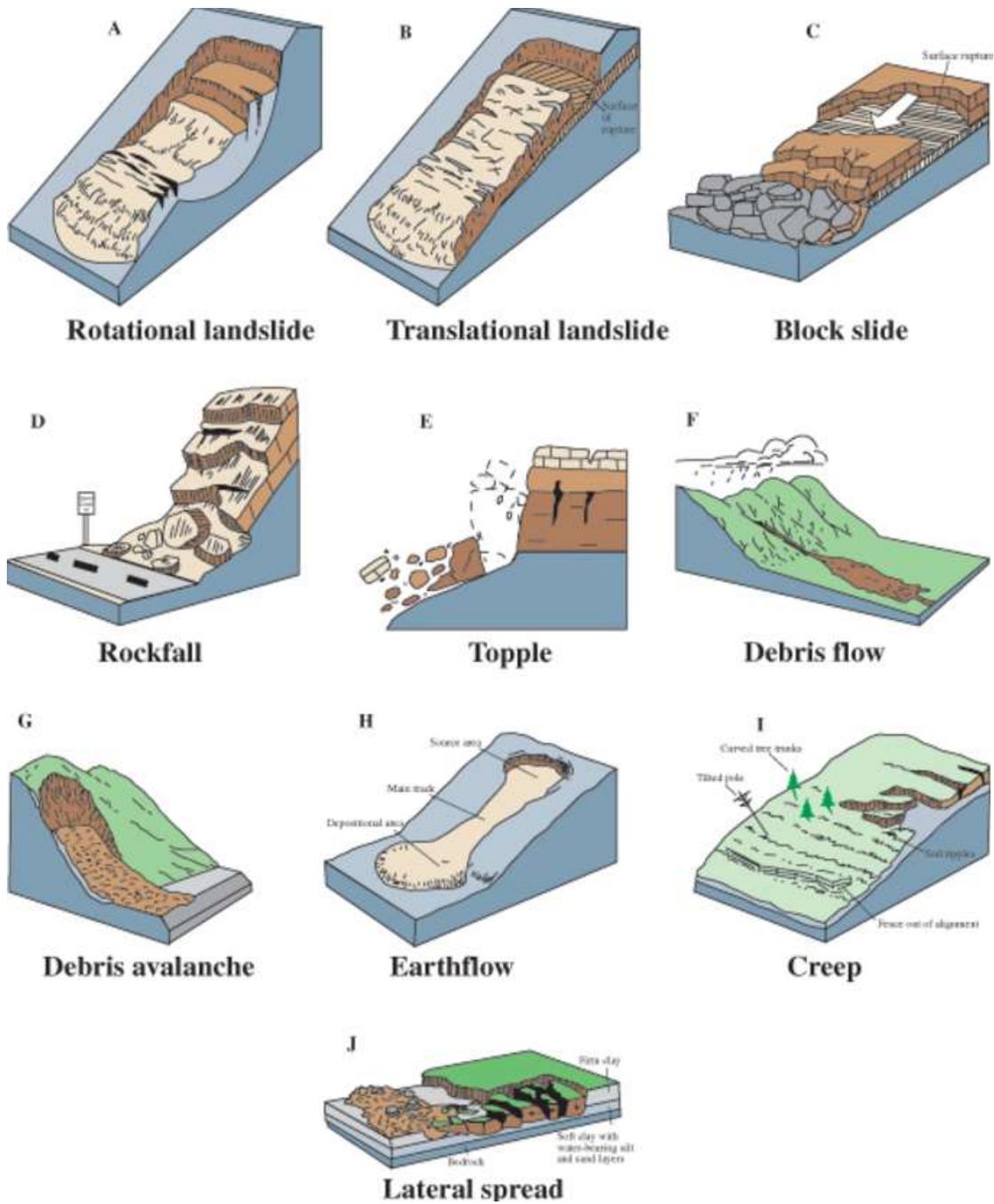


Figura 2. Los diferentes tipos de deslizamientos que pueden ocurrir a causa de cambios en el relieve o desastres naturales (U.S. Geological Survey 2044, Landslides types of processes fact sheet 2004-3072).

Metodología

Las capas utilizadas para generar el mapa de deslizamientos de Puerto Rico fueron: la capa de datos de deslizamientos, la capa de municipios y elevación utilizadas en el laboratorio 9 de la clase (**Figura 3**). Es importante destacar que la capa de datos de deslizamientos fue brindada por la estudiante graduada Tania Figueroa Colon. Para obtener estos datos, el equipo de investigación analizó imágenes satelitales posteriores al Huracán María (Digital Globe Inc.) e imágenes aéreas para evaluar las áreas afectadas por deslizamientos de tierra, identificando cicatrices de deslizamientos mediante la deforestación y el contraste de color entre el suelo/roca expuestos y la vegetación. La isla se dividió en una cuadrícula de 2 km × 2 km, y cada celda se clasificó según la densidad de deslizamientos: sin deslizamientos (NLS, No Land Slide), baja densidad de deslizamientos (LLD, Low Lands Slide, 1-25 deslizamientos/km²) o alta densidad de deslizamientos (HLD, High Land Slides, >25 deslizamientos/km²). No se mapearon deslizamientos individuales; en su lugar, el enfoque se centró en la clasificación general de densidad. El mapa preliminar de densidad de deslizamientos fue validado y actualizado mediante inspecciones aéreas en helicóptero y observaciones terrestres que recorrieron 1,950 km. (K. Stephen Hughes, William H. Schulz, Corina Cerovski-Darriau, et, al).

Luego de ingresar las capas en ArcGIS Pro, se procedió a cambiar el sistema de coordenadas a NAD 1983, para que los datos de deslizamiento tengan las mismas coordenadas que la capa de municipios y elevación (**Figura 4**). Después de modificar el sistema de coordenadas, acudimos a la tabla de atributos para confirmar los tres pueblos más susceptibles a deslizamientos y los tres menos propensos. Una vez identificados, se utilizó la herramienta de “Clip Layer” para separar los datos de deslizamientos de los pueblos deseados y luego se utilizó el “Clip Raster” para

separar los municipios (Figura 5 y Figura 6). Es aquí donde pudimos hacer los mapas individuales para los seis municipios a ser estudiados.

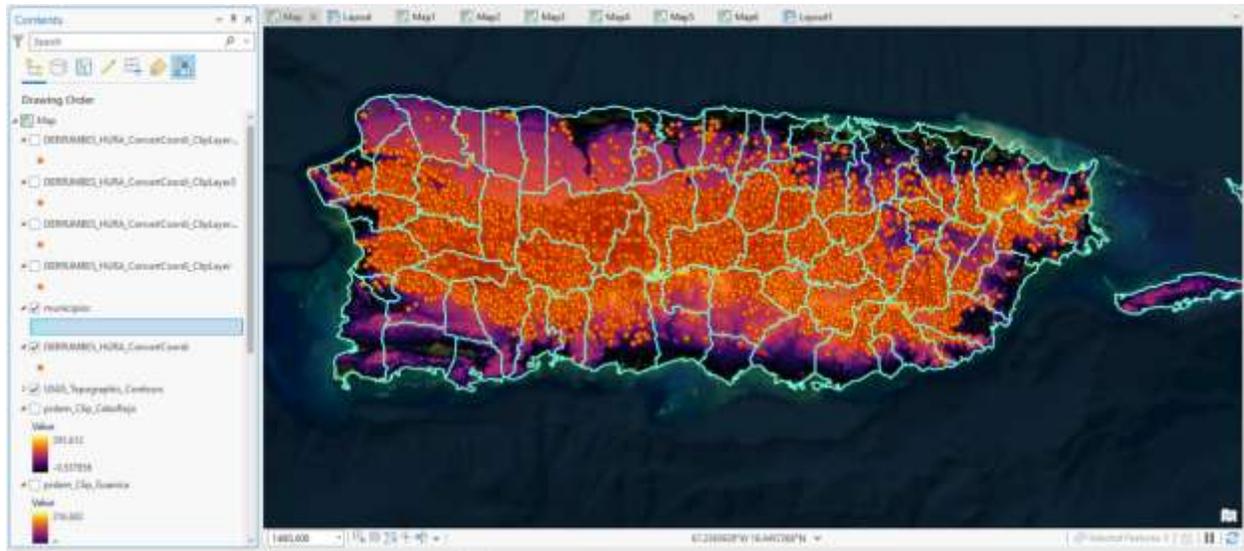


Figura 3. Mapa de Puerto Rico con las capas de datos de deslizamientos, capas de elevación y municipios.

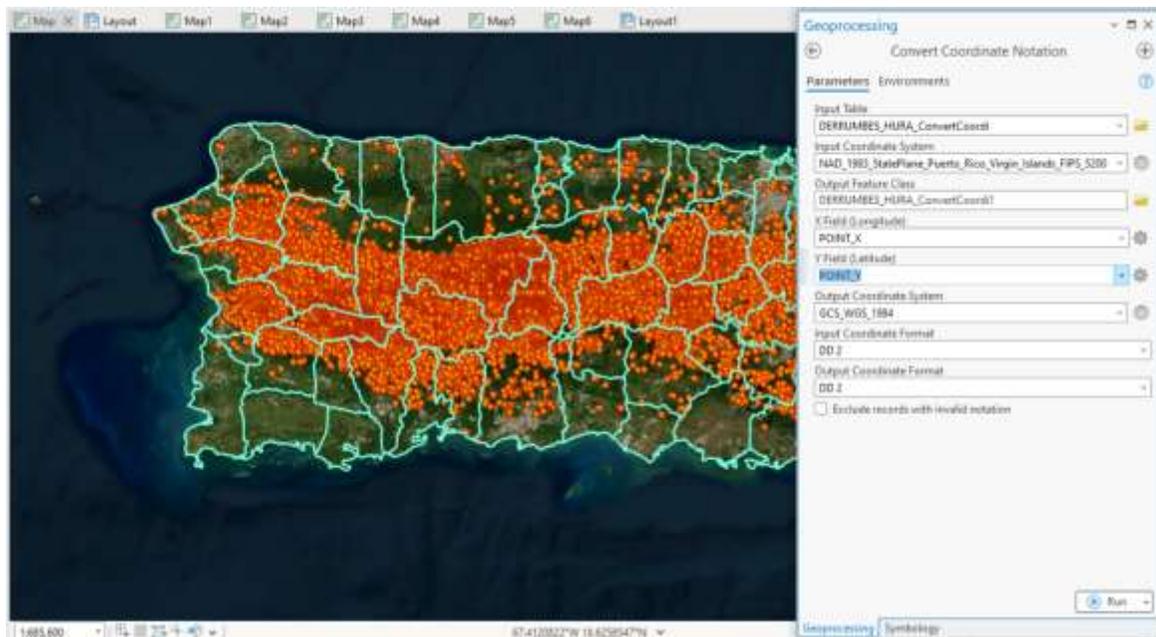


Figura 4. Configuración del sistema de coordenadas (NAD 1983).

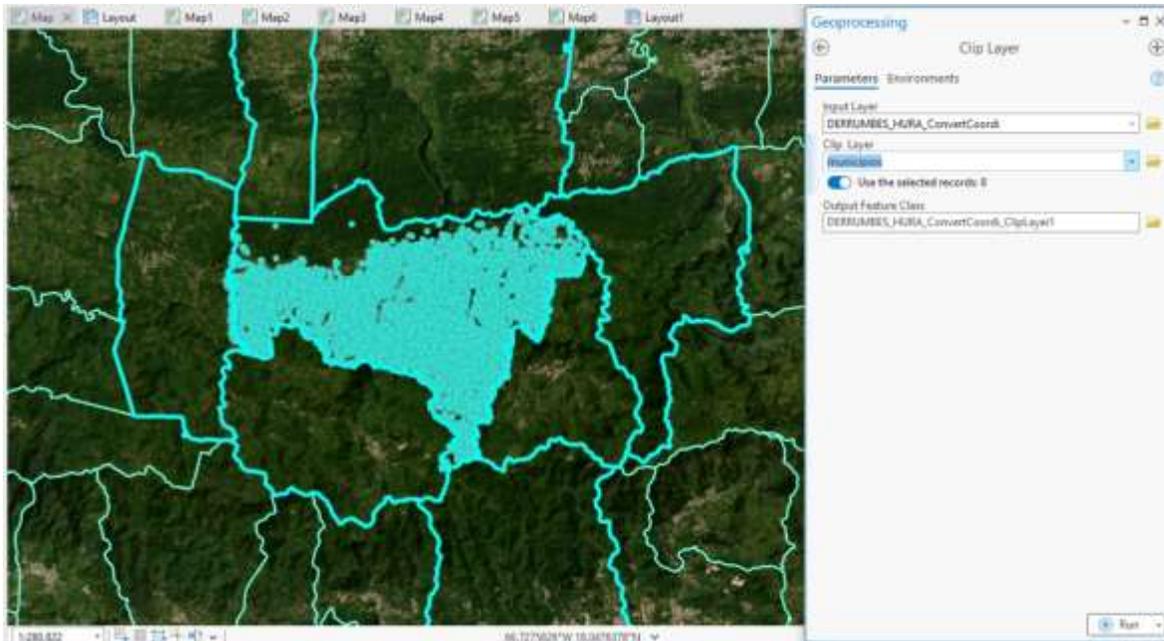


Figura 5. Separando los datos de deslizamientos utilizando la herramienta de Clip Layer.

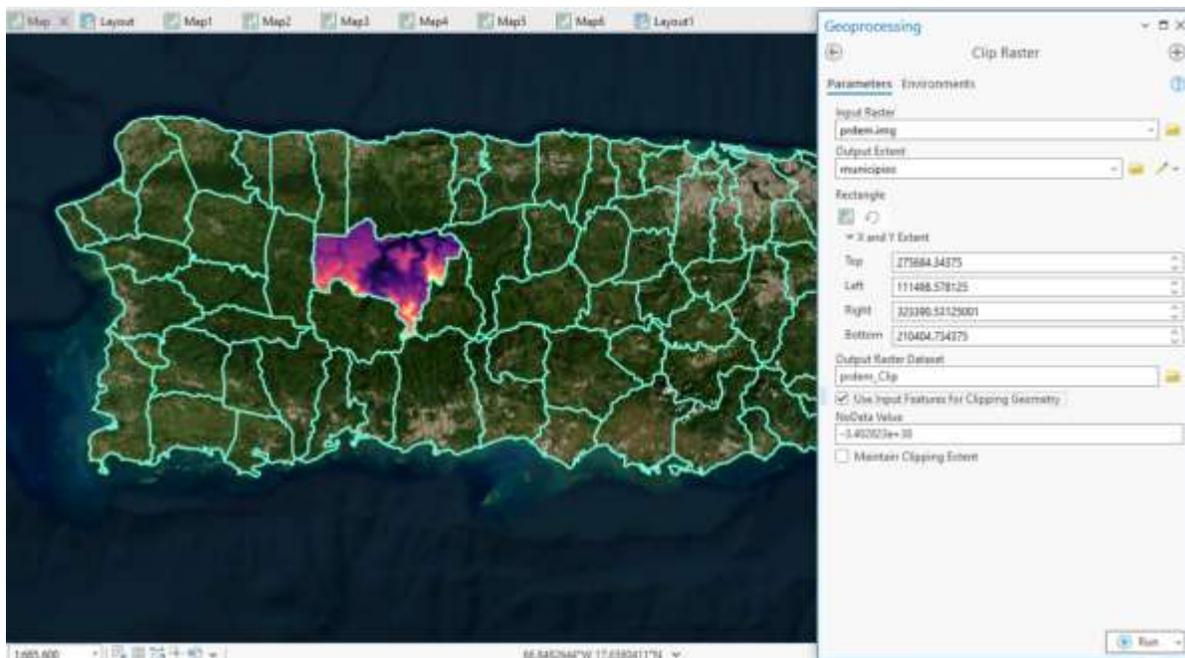


Figura 6. Separando los municipios utilizando la herramienta de Clip Raster.

Resultados & Discusión

El mapa de Puerto Rico que se obtiene como producto de las capas procesadas a través de ArcGIS Pro demuestra la tendencia que hay en el centro de la isla a ser más susceptible a deslizamientos, comparado a las regiones costeras (**Figura 7**). Este patrón coincide con la ubicación de la Cordillera Central, una principal cadena montañosa que se extiende desde Aibonito en la región oeste de la isla, hasta Sierra de Cayey en el este de Puerto Rico. Con una altitud promedio de aproximadamente 915 metros, esta cadena divide a la isla entre las llanuras del norte y las del sur. Utilizando la data de deslizamientos, se identificaron los tres municipios con mayor susceptibilidad a deslizamientos de tierra, los cuales también se encuentran en la Cordillera Central.

Según los datos utilizados, el municipio más susceptible a deslizamientos causados por el Huracán María es Utuado, con 17,849 deslizamientos registrados (**Figura 8**). Este es el tercer municipio más grande de Puerto Rico, con una población aproximada de 28,287 habitantes y cuenta con una elevación máxima de 4,275 pies. El segundo pueblo más susceptible es Maricao, con 6,044 deslizamientos de tierra (**Figura 9**). El mismo tiene una población aproximada de 4,455, es el segundo pueblo menos poblado de Puerto Rico. Además, cuenta con una elevación máxima de 3,133 pies. El tercer municipio más susceptible es Jayuya, donde se registraron 4,951 deslizamientos (**Figura 10**). En Jayuya se encuentra la montaña más alta de Puerto Rico conocida como Cerro de Punta, la misma tiene una elevación de aproximadamente 4,389 pies. Finalmente, este cuenta con una población de 14,726 habitantes.

Contrario a los pueblos mencionados, los municipios menos susceptibles a deslizamientos se encuentran en regiones costeras, específicamente en la costa del sur y suroeste de la isla. En esta categoría se encuentra Lajas, donde no se registraron deslizamientos (**Figura 11**). Este pueblo

cuenta con una población aproximada de 23,202 habitantes y una elevación máxima de 971 pies. Luego le sigue Guánica, donde tampoco se registraron deslizamientos (**Figura 12**). Este tiene una tasa poblacional de aproximadamente 13,682 habitantes y una elevación máxima de 699 pies. Finalmente, se identificó a Cabo Rojo como el tercer pueblo menos susceptible a deslizamientos de tierra, donde se registró 2 deslizamientos (**Figura 13**). Este municipio cuenta con una población de 46,983 habitantes y una elevación máxima de 1,598 pies.

La tendencia de los deslizamientos a ocurrir con más frecuencia en la Cordillera Central, contrario a las regiones costeras, guarda relación con las condiciones necesarias para que ocurran deslizamientos de tierra. Esta cadena montañosa compone los relieves más elevados de la isla y cambios significativos en la estabilidad de la pendiente pueden ocasionar estos eventos geológicos. Un factor que tuvo un papel clave para que se desestabilizara el terreno fue la gran cantidad de lluvia que se descargó durante el Huracán María (26.7 pulgadas). Esta sobresaturación del suelo hace que los sedimentos, las rocas y los escombros se desprendan del terreno y sean transportados por la alta cantidad de agua. Es importante destacar, que además del Huracán María, la isla había sido impactada por las lluvias del Huracán Irma, el cual descargó 15 pulgadas de lluvia en el centro de Puerto Rico, aportando a la sobresaturación del suelo. La litología es un factor que también se debe tomar en consideración, ya que, si la roca es joven, la probabilidad de que sea más susceptible a deslizamientos aumenta. Además, en la Cordillera Central de Puerto Rico se encuentran las rocas más jóvenes de la isla, lo cual pudo haber sido una característica que aportó a la alta tasa de deslizamientos en esta zona.



Figura 7. Mapa de deslizamientos en Puerto Rico a causa del Huracán María.

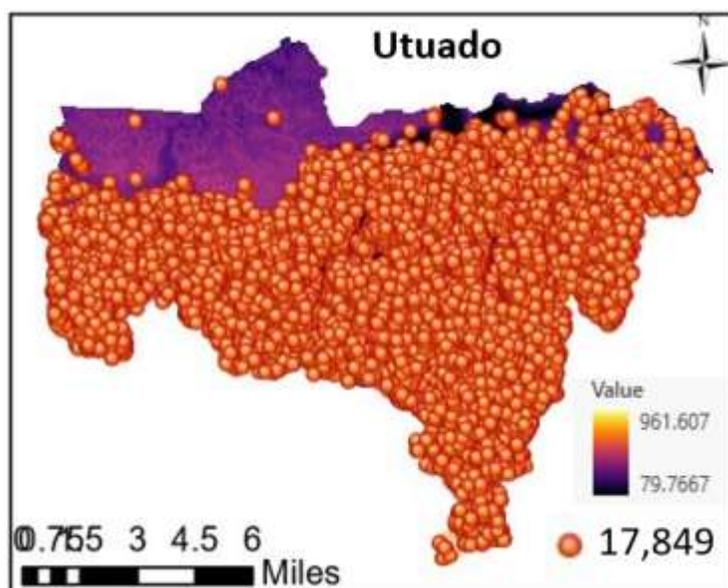


Figura 8. Mapa de deslizamientos del municipio de Utuado, Puerto Rico.

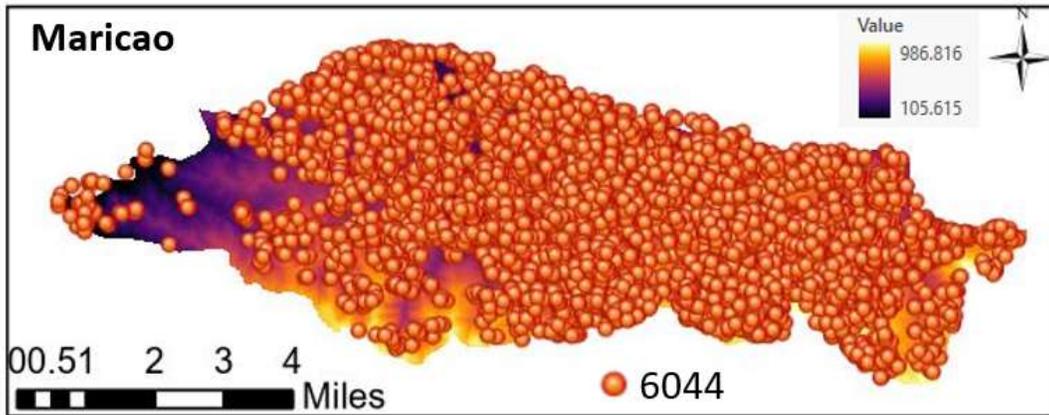


Figura 9. Mapa de deslizamientos del municipio de Maricao, Puerto Rico.

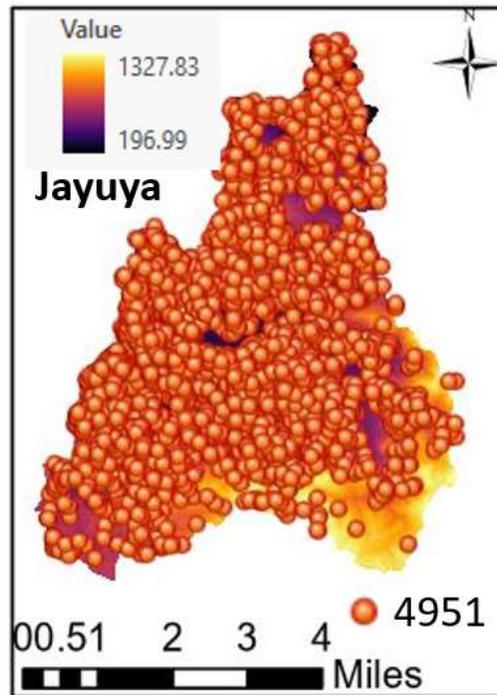


Figura 10. Mapa de deslizamientos del municipio de Jayuya, Puerto Rico.

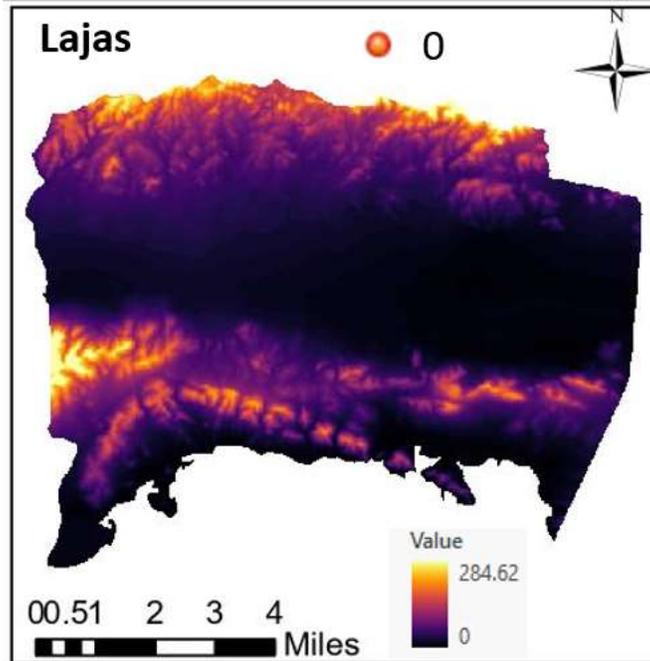


Figura 11. Mapa de deslizamientos del municipio de Lajas, Puerto Rico.

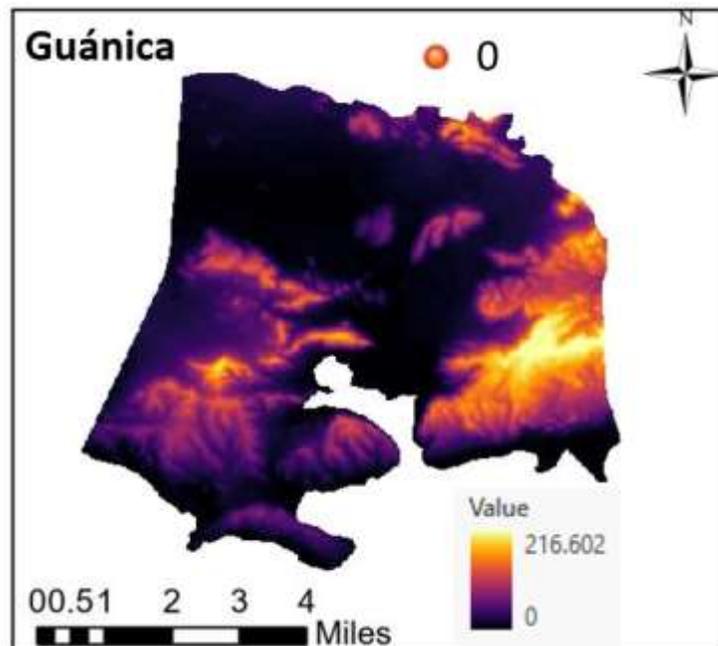


Figura 12. Mapa de deslizamientos del municipio de Guánica, Puerto Rico.

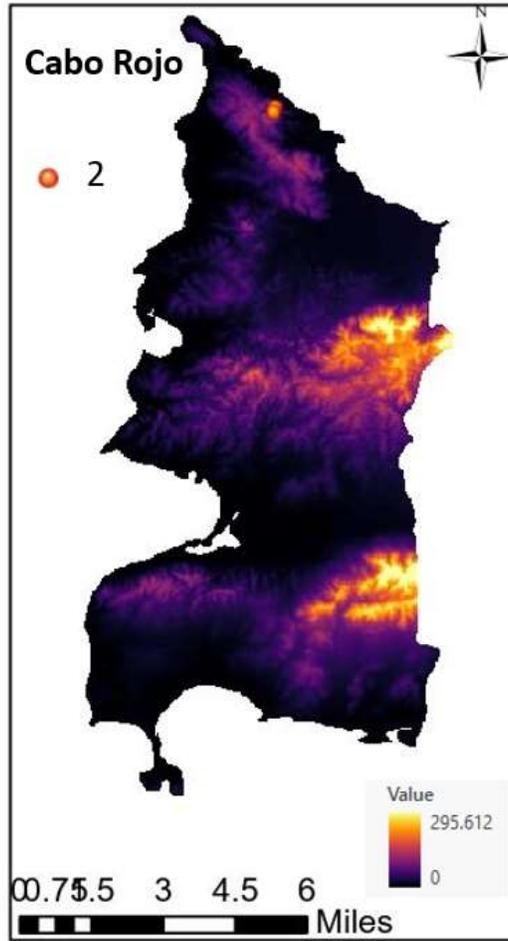


Figura 13. Mapa de deslizamientos del municipio de Cabo Rojo, Puerto Rico.

Conclusión

El análisis realizado que utilizó ArcGIS Pro permitió identificar los municipios más y menos susceptibles a deslizamientos de tierra en Puerto Rico tras el paso del Huracán María. Los resultados evidencian que la Cordillera Central, debido a su alta elevación, pendientes altamente pronunciadas y material suelto debido a la alta concentración de lluvia en la zona. Los municipios que fueron más propensos a estos eventos geológicos fueron Utuado, Maricao y Jayuya. En contraste, las regiones costeras del sur y suroeste, como Lajas, Guánica y Cabo Rojo, mostraron una baja susceptibilidad, lo que puede atribuirse a su menor elevación y pendientes menos pronunciadas. Estos resultados resaltan la importancia de considerar factores geológicos y climáticos en la planificación del uso del terreno y en la mitigación de riesgos asociados a deslizamientos de tierra en la isla.

Referencias

Hughes, K.S., y Schulz, W., 2020, Map depicting susceptibility to landslides triggered by intense rainfall, Puerto Rico: Open-File Report, doi:10.3133/ofr20201022.

K. Stephen Hughes, William H. Schulz, Corina Cerovski-Darriau, et, al, GSA Today - landslides Triggered by Hurricane Maria: Assessment of an Extreme Event in Puerto Rico. (n.d.). Geosociety.org. Retrieved December 12, 2024, from <https://rock.geosociety.org/net/gsatoday/science/G383A/article.htm>

Rainfall-induced landslides in Puerto Rico Usgs.gov, <https://www.usgs.gov/programs/landslide-hazards/science/rainfall-induced-landslides-puerto-rico> (accessed noviembre 2024).

Vélez Santiago, P., 2017, Puerto Rico sin daños mayores por el paso del huracán Irma, pero advierten sobre inundaciones: Univisión, <https://www.univision.com/local/puerto-rico-wlii/puerto-rico-sin-danos-mayores-por-el-paso-del-huracan-irma-pero-advierten-sobre-inundaciones> (accessed diciembre 2024).