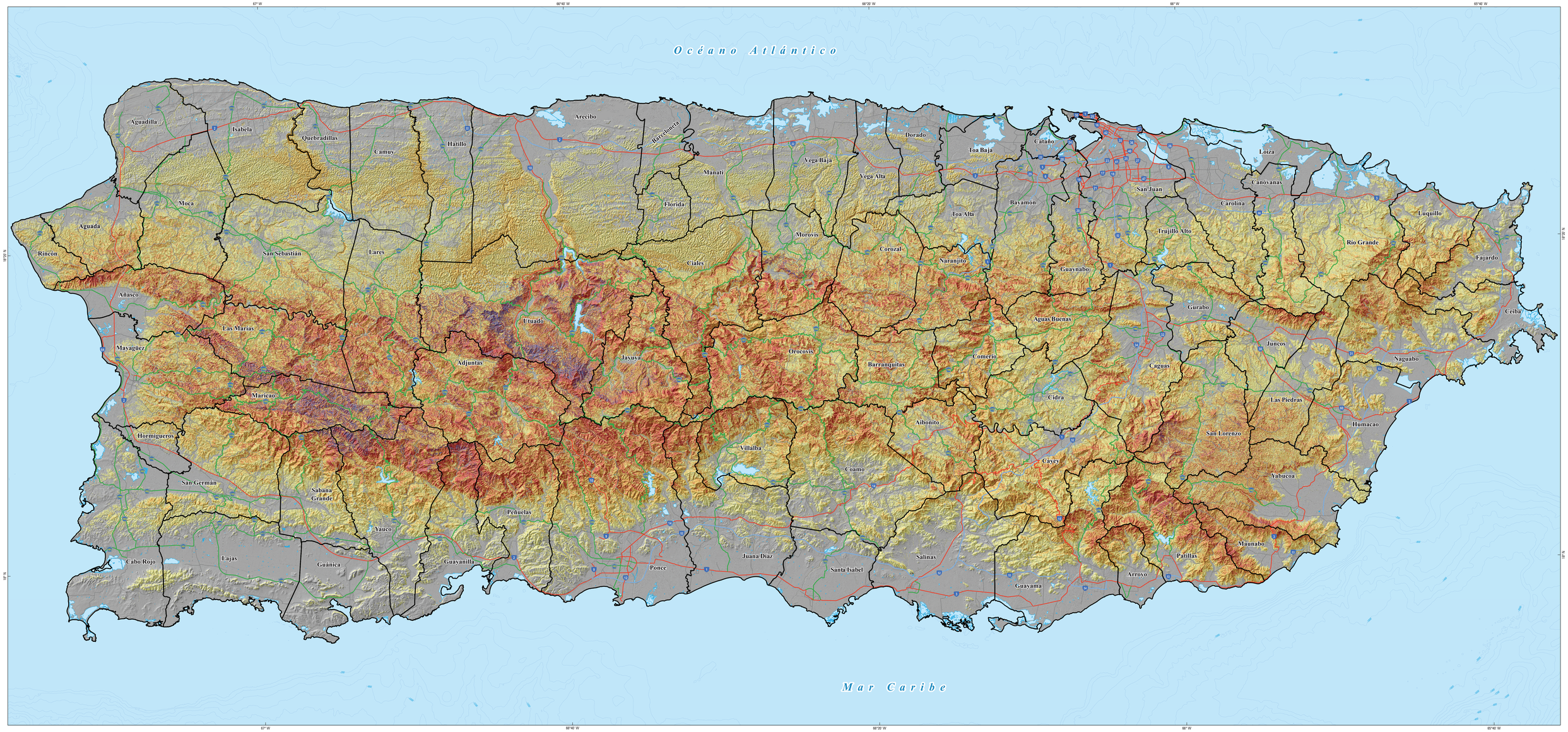
U.S. Department of the Interior
U.S. Geological Survey

Open-File Report 2020–1022
El folleto acompaña el mapa



La topografía base se obtuvo del U.S. Geological Survey 3D Elevation Program. La batimetría se obtuvo del NOAA National Geophysical Data Center. Los cuerpos de agua se obtuvieron del U.S. Geological Survey National Hydrography Dataset. Las carreteras se obtuvieron del Puerto Rico Department of Transportation and Public Works
World Geodetic System of 1984 (WGS84)

13.1°
DECLINACIÓN EN EL CENTRO DE LA HOJA, 2019

ESCALA 1:150 000
2 0 2 4 6 8 10 MILLAS
2 0 2 4 6 8 10 KILOMETROS

PUERTO RICO
UBICACIÓN DEL MAPA

DESARROLLO DEL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE TIERRA

Los deslizamientos de tierra que ocurren comúnmente en Puerto Rico durante o poco después de una precipitación intensa presentan amenazas significativas al entorno construido y a la seguridad humana (por ejemplo, Jibson, 1986; Larsen y Torres Sánchez, 1992; Bessette-Kirton y otros, 2019). Esto se demostró en septiembre de 2017, cuando el huracán María provocó más de 70,000 derrumbes (Hughes y otros, 2019) a través de la isla principal de Puerto Rico, lo que causó pérdidas de vida y destrucción extensa. Para desarrollar este mapa con resolución de 5 metros que muestra la susceptibilidad relativa a la ocurrencia de deslizamientos durante y poco después de las lluvias torrenciales, utilizamos un enfoque estadístico (véase folleto adjunto que acompaña este mapa para la metodología detallada). Principalmente, analizamos el inventario de deslizamientos provocados por el huracán María y un conjunto de datos geoespaciales: la pendiente y curvatura de la superficie, la proximidad a las carreteras y los cauces fluviales, los terrenos geológicos, la clasificación de suelos, la precipitación media anual, la cobertura de terrenos, y el contenido de la humedad del suelo estimada como resultado del huracán María. El contenido de la humedad del suelo estimada como resultado del huracán María se utilizó para atenuar los efectos del uso de un inventario de deslizamientos causados por un solo evento en el mapa de susceptibilidad final. La clasificación de Extremadamente Alta ocurre sobre un 1 por ciento de la isla, mientras que las clasificaciones de Muy Alta, Alta y Moderada ocurren sobre 9, 20 y 30 por ciento de la isla, respectivamente.

USO Y LIMITACIONES DEL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE TIERRA

Este mapa muestra la susceptibilidad relativa estimada a la ocurrencia de deslizamientos de tierra durante o poco después de una precipitación intensa, como la que se produce durante ciclones tropicales. El mapa busca ilustrar la amenaza relativa y potencial de los deslizamientos de tierra para proveer un marco de referencia para evaluaciones de susceptibilidad en lugares específicos y ayudar con la planificación para medidas de mitigación más adelante en el futuro. Por ejemplo, localizaciones con alta susceptibilidad a deslizamientos pueden (1) ser excluidas de futuros desarrollos; (2) requerir estudios de estabilidad de taludes previo al desarrollo, nivelación, cimentación, diseño de drenaje y construcción que tomen en consideración el potencial de inestabilidad de taludes; (3) ser objeto de evaluación y mitigación de condiciones potencialmente adversas; (4) ser monitoreadas para detectar signos de inicio de deslizamientos, tales como grietas en carreteras y estructuras, postes y árboles inclinados, y líneas de agua y alcantarillados rotos; y/o (5) ser consideradas para desalojo previo a la precipitación pronosticada conducente a deslizamientos y para esfuerzos de respuesta de emergencia luego de dicha lluvia intensa. Cuando se utiliza en consideración a eventos atmosféricos específicos, el mapa debe evaluarse junto con las condiciones de precipitación específicas del evento, siendo los deslizamientos de tierra más probables donde ocurren mayores cantidades de precipitación en localizaciones con mayor susceptibilidad a deslizamientos de tierra. Además, los datos estimados de la humedad de suelos en la zona radicular de la misión "Soil Moisture Active Passive" de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (https://smap.jpl.nasa.gov/ accedido por última vez el 26 de diciembre de 2019) pueden combinarse con los estimados de susceptibilidad a deslizamientos para este propósito (véase "Uso y Limitaciones del Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos de Tierra en el folleto que acompaña este mapa para una metodología más detallada). El mapa no es un sustituto de investigaciones de lugares específicos y estabilidad de taludes por geólogos e ingenieros licenciados. Además, muchos de los deslizamientos en Puerto Rico se mueven lejos de las localizaciones de donde se originan y pueden ocasionar la pérdida de vidas y propiedades a medida que avanzan cuesta abajo; el mapa no muestra esta amenaza significativa como resultado de la movilidad de deslizamientos. Finalmente, las ubicaciones de deslizamientos detonados por terremotos o precipitación prolongada y de intensidad relativamente baja pueden diferir considerablemente de ubicaciones en el mapa con susceptibilidad Alta, Muy Alta y Extremadamente Alta.

La mayoría de los deslizamientos en Puerto Rico que ocurren a consecuencia de las lluvias torrenciales son poco profundos (a varios metros de profundidad) y ocurren en material no consolidado (suelo y saprolita) encima de rocas (por ejemplo, Jibson, 1989; Larsen y Torres Sánchez, 1992; Bessette-Kirton y otros, 2019). Estos son los tipos de movimiento de masa mejor representados por el mapa de susceptibilidad a deslizamientos de tierra ya que este se produjo mediante un inventario de los deslizamientos causados por el huracán María (Hughes y otros, 2019) y muchos de estos deslizamientos fueron poco profundos. El huracán María también provocó deslizamientos de tierra en rocas y algunos alcanzaron profundidades de aproximadamente 30 metros (Bessette-Kirton y otros, 2019), por lo que el mapa también muestra la susceptibilidad a deslizamientos de tierra más profundos y en roca. Sin embargo, este tipo de movimiento de masa está relativamente poco representado por el mapa de susceptibilidad dado que pocos fueron provocados por el huracán María y, por ende, no proveyeron medidas estadísticamente sólidas con las cuales pueden pronosticarse. El trágico deslizamiento que ocurrió en Maneyes en el municipio de Ponce en 1985, que acabó con la vida de más de 129 personas (Silva-Tulla, 1986), es un ejemplo de un tipo de deslizamiento de tierra probablemente poco representado por el mapa de susceptibilidad. Además, muchos deslizamientos en todo el mundo se desencadenan por actividad humana, tal como la nivelación de laderas y redirección del drenaje. Dichas actividades locales no pueden contemplarse en el mapa.

Común a casi todos los esfuerzos de modelaje, la exactitud del mapa de susceptibilidad a deslizamientos de tierra se basa en cuán exactos y completos son los datos de entrada empleados para su desarrollo. Entre otros, anticipamos que las siguientes omisiones y condiciones afecten la exactitud del mapa: (1) variabilidad de la resistencia del basamento rocoso y propiedades hidrológicas, orientación y condición de discontinuidades dentro de terrenos geológicos; (2) variabilidad de la resistencia del suelo y propiedades hidrológicas dentro del tipo de suelo; (3) consideración de solo algunas partes de la red de carreteras, como omisiones de la mayoría de las carreteras, caminos y senderos de granjas no documentadas; y (4) el uso de un modelo topográfico de 2015–2016, previo a los deslizamientos de tierra causados por el huracán María y otros cambios topográficos.

REFERENCIAS CITADAS

Bessette-Kirton, E.K., Cerovski-Darriau, C., Schulz, W.H., Coe, J.A., Kean, J.W., Godt, J.W., Thomas, M.A., and Hughes, K.S., 2019, Landslides triggered by Hurricane María—Assessment of an extreme event in Puerto Rico: GSA Today, v. 29, no. 6, p. 4–10. [Also available at https://www.geosociety.org/gsatoday/science/G383A/article.htm.]

Hughes, K.S., Bayouth García, D., Martínez Milian, G.O., Schulz, W.H., and Baum, R.L., 2019, Map of slope-failure locations in Puerto Rico after Hurricane María: U.S. Geological Survey data release, accessed September 12, 2019, at https://doi.org/10.5066/P9BVMD74.

Jibson, R.W., 1986, Evaluation of landslide hazards resulting from the 5–8 October 1985, storm in Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report 86–26, 40 p. [Also available at https://doi.org/10.3133/ofr86026.]

Jibson, R.W., 1989, Debris flows in southern Puerto Rico, *in* Schultz, A.P., and Jibson, R.W., eds., Landslide processes of the eastern United States and Puerto Rico: Geological Society of America Special Paper 236, p. 29–55. [Also available at https://doi.org/10.1130/SPE236-p29.]

Larsen, M.C., and Torres Sanchez, A.J., 1992, Landslides triggered by Hurricane Hugo in eastern Puerto Rico, September 1989: Caribbean Journal of Science, v. 28, no. 3-4, p. 113–125.

Silva-Tulla, F., 1986, The October 1985 landslide at Barrio Mameyes, Ponce, Puerto Rico: Washington, D.C., National Academies Press, 14 p.

EXPLICACIÓN

SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE TIERRA

- Baja
- Moderada
- Alta
- Muy Alta
- Extremadamente Alta

CARRETERAS Y LÍMITES

- Autopistas
- Rutas primarias
- Rutas secundarias
- Rutas terciarias
- Límites municipales

ESTRUCTURA REGIONAL

- Cuerpo de agua



Deslizamientos de tierra provocadas por el huracán María en Utuado, 2017. Fotografía por E. Bessette-Kirton, dominio público.



Deslizamientos de tierra provocados por el huracán María en Corozal, 2017. Fotografía por W. Schulz, dominio público.

Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos de Tierra Desencadenados por Precipitación Intensa en Puerto Rico

Por

K. Stephen Hughes[1] y William H. Schulz[2]

2020

[1]Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico;
[2]U.S. Geological Survey

Para más información sobre esta publicación, contacte al
Center Director, USGS Geologic Hazards Science Center
Box 25046, Mail Stop 966
Denver, CO 80225
(303) 273-8579

O visite la página web del Geologic Hazards Science Center en
https://www.usgs.gov/centers/ghsc/contacts

Para aprender sobre el USGS y sus productos de información visite
http://www.usgs.gov/
1-888-ASK-USGS

Para información de productos y pedidos visite
http://store.usgs.gov/

El apoyo para la publicación fue provisto por el Science Publishing Network, Denver Publishing Service Center

El manuscrito fue aprobado para publicación el 3 de Marzo de 2020

Cualquier uso de nombres comerciales, empresas o productos es solamente para fines descriptivos y no implica el endoso del gobierno de EE.UU.

Este mapa se ofrece solamente como una publicación digital y en línea. Los usuarios deben tener en cuenta que dadas las diferencias en los procesos de renderización y la resolución de pixeles puede ocurrir una leve distinción de la escala al verlo en la pantalla de una computadora o al imprimirlo en un plóter electrónico, incluso cuando se ve o se imprime en su escala de publicación destinada.

Los archivos digitales del reporte están disponibles en https://doi.org/10.3133/ofr20201022

Citación sugerida: Hughes, K.S., and Schulz, W.H., 2020, Mapa depicting susceptibility to landslides triggered by intense rainfall, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report 2020–1022, 91 p., 1 plate, escala 1:150,000, https://doi.org/10.3133/ofr20201022.

Datos asociados para esta publicación: Hughes, K.S., and Schulz, W.H., 2020, Results from frequency–ratio analyses of soil classification and land use related to landslide locations in Puerto Rico following Hurricane María: U.S. Geological Survey data release, https://doi.org/10.5066/P9VXZYAL.

ISSN 2331-1258 (en línea)
https://doi.org/10.3133/ofr20201022