



## Revisión histórica de los deslizamientos de terreno superficiales causados por lluvias, casos: México y República Dominicana

*Historical review of rainfall-caused shallow landslide, cases: Mexico and Dominican Republic*

Pablo Castillo Pérez<sup>1\*</sup>, Lizeth Vergara Farías<sup>2</sup>, Juan Chalas<sup>3</sup>, Felipe Vicioso<sup>4</sup>

Recibido: 29/10/2019

Aceptado: 21/03/2020

\*Autor de correspondencia

### Resumen

Los deslizamientos de terreno superficial causados por la lluvia son fenómenos que ocurren alrededor del mundo bajo determinadas condiciones, y han tenido un fuerte impacto en los ámbitos social, económico y ambiental, lo que lo ha llevado a ser un tema de investigación que se ha estudiado a lo largo del tiempo. En este artículo se muestran casos de deslizamientos de terreno superficiales inducidos por las lluvias provocadas por el huracán Ingrid y la tormenta tropical Manuel, que ocurrió en México, en el estado de Oaxaca, en Septiembre de 2013, así como una reseña sobre los impactos sociales, económicos y ambientales en las zonas más susceptibles de República Dominicana.

**Palabras clave:** Deslizamiento, lluvias, Impacto.

### Abstract

*Landslides caused by rain are phenomena that occur around the world under certain conditions, and have had a strong impact in the social, economic and environmental spheres, which has made it a research topic that has been studied over time. This article shows cases of superficial landslides induced by the rains caused by Hurricane Ingrid and Tropical Storm Manuel, which occurred in Mexico, in the state of Oaxaca, in September 2013, as well as a review of the social impacts, economic and environmental in the most susceptible areas of the Dominican Republic.*

**Keywords:** Landslide, Rainfall, Impact.

1 Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, México. pablocp91@gmail.com

2 ISS Ingeniería y Soluciones. ing\_lvergara@hotmail.com

3 Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI), Centro para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos en los Estados Insulares del Caribe (CEHICA), República Dominicana. jrchalas@gmail.com

4 Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias (FCAV), Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD), República Dominicana. jrchalas@gmail.com

## 1. INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos de terreno (Landslides) representan una amenaza para la vida humana, la infraestructura, para el medio ambiente, en especial en regiones montañosas y zonas con pendientes fuertes. Un deslizamiento se define como un movimiento o deslizamiento de una masa de roca, suelo residual o sedimentos de una ladera, en el cual el centro de gravedad se desplaza moviéndose hacia abajo y hacia el exterior (Terzaghi, 1950). De manera general, este movimiento se debe a la falla del terreno en pendiente que ocurre cuando el esfuerzo que contiene la ladera excede a la fuerza interna que mantiene estable al material del terreno. Estos deslizamientos pueden manifestarse de manera lenta, representándose en mm/año, o de manera rápida, para este caso con deslizamientos de terreno superficiales (Shallow Landslides), este término se refiere a los

movimientos en los cuales el material es desplazado sobre una superficie de deslizamiento cercana a la superficie del terreno, éstos son catalogados, particularmente, como de mayor riesgo natural, debido a que a menudo se convierte en un flujo de escombros de que se mueve rápida y desastrosamente (Lanni, 2012).

La lluvia es, ciertamente, el factor más frecuente en la ocurrencia de los deslizamientos, los eventos extremos de lluvia, de gran intensidad y de larga duración tienen un alto impacto en el desencadenamiento de los deslizamientos superficiales (Iverson, 2000). Aunque para el estudio de este fenómeno se consideran más factores que se involucran en el desencadenamiento de los deslizamientos como los factores Geológicos, Morfológicos, Ambientales e Hidrológicos (Reichenbach et al., 2018) (figura 1).

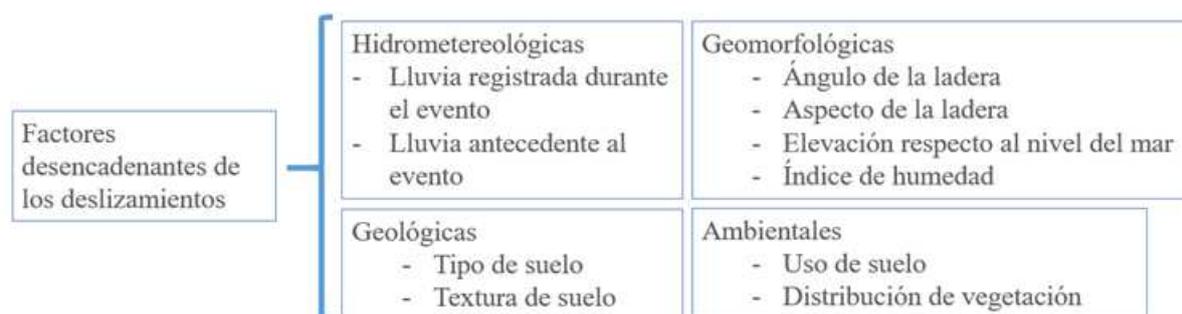


Figura 1. Factores desencadenantes de los deslizamientos

Con la combinación de estos factores el comportamiento de este fenómeno se debe a la infiltración causada por la lluvia que reduce la fuerza de la capa de suelo disminuyendo el efecto positivo en la estabilidad de la ladera debido a la presión de poro negativa (Godt, Baum, & Lu, 2009), la falla de la superficie a menudo corresponde al punto de contacto entre la capa del suelo y la capa menos permeable, donde se desarrolla una capa de agua temporal (Baum, 2010). Los deslizamientos de terreno superficiales tienen un mayor impacto en países en vías de desarrollo debido al incremento en la vulnerabilidad social de comunidades rurales y urbanas. En años recientes, los desastres relacionados a deslizamientos en países de Latinoamérica se han incrementado, por lo que es de suma importancia investigar este tipo de fenómenos, haciendo estudios en campo y mediante bases de datos, esto con la

finalidad de mejorar el conocimiento base para reducir esta vulnerabilidad de poblaciones expuestas a este fenómeno (Alcántara-Ayala & Oliver-Smith, 2014), y de esta manera poder comunicarlo a la población y puedan tener una percepción clara del riesgo al desastre que este fenómeno puede ocasionar (Álcantara-Ayala & Moreno, 2016). Este fenómeno natural causa trastornos sociales cuando los humanos forman parte del entorno construido a su paso. Los deslizamientos de terreno superficial se asocian directamente con la inestabilidad de taludes, que a lo largo de rutas de transporte y en valles montañosos plantea peligros y es una fuente de pérdidas económicas considerables (Turner, 2018). Es por eso que en este artículo se presenta una reseña de eventos de deslizamientos, así como una perspectiva actual que describe el impacto social, económico y natural para México y República Dominicana.

## 2. RESEÑA DE LOS DERRUMBES Y DESLIZAMIENTOS EN MÉXICO

### 2.1 Caso práctico, Carretera Tlaxiaco-Putla, Oaxaca

En México los días 14, 15 y 16 de septiembre de 2013 se presentó un evento extraordinario no visto antes, dos fenómenos hidrometeorológicos que

impactaron al mismo tiempo el sur del país, dañando la infraestructura carretera de las redes rurales y alimentadoras en los estados de Oaxaca y Guerrero (Figura 2), afectando a una población de más de 5 millones de habitantes: se trató del huracán Ingrid y la tormenta tropical Manuel.



Figura 2. Ubicación del estado de Oaxaca

Las precipitaciones de estos días dañaron más del 80% de los caminos, en este punto en particular tocamos el caso de una de las principales carreteras de la Mixteca Oaxaqueña, la Carretera Oaxaca-Putla.

En cuanto a nuestra zona de estudio Región Mixteca sus generales son:

- Ocupa el 14% del territorio estatal, el medio físico cambia de árido y semidesértico a boscoso y estepario.
- Tiene 7 distritos en la zona Nochixtlán, Tlaxiaco, Juchitán, Silacayoapan, Huajuapán, Coixtlahuaca, y Teposcolula.
- La región es muy pobre en apariencia, por los pocos cultivos que se dan en ella, las montañas de la zona tienen depósitos de antimonio, zinc, plata, oro, hierro, mercurio y otros minerales.
- En Tlaxiaco sus cumbres principales son el Cerro Negro y Yucunino.
- En la región sureste de Teposcolula predominan encinos enanos como vegetación, al norte de Huajuapán su vegetación está constituida de órganos.

La erosión se presenta en toda la Mixteca, tanto así que ha sido citada como un lugar con el peor grado de erosión existente, y se considera que si esta continua se puede convertir en desierto y perder toda su tierra cultivable. Aunque existe esta gran erosión y una pobreza regional los habitantes siembran en los pequeños valles y laderas maíz, frijol, papa, chile y algunas frutas insuficientes para la región.

### 2.2 Fenómenos hidrometeorológicos

La República Mexicana es afectada año con año por fenómenos hidrometeorológicos que ocasionan muchos daños, pérdida de vidas humanas y cuantiosos daños materiales, la región Sur-Sureste del país es la zona que generalmente se ven afectadas con mayor frecuencia.

Es la primera vez en la historia reciente que dos fenómenos meteorológicos de esa magnitud impactan en un mismo día por el Golfo de México y el Océano Pacífico, la última vez que esto sucedió fue en 1958.

Por un lado, el Huracán Ingrid fue el segundo y más destructivo de los que se presentaron en la temporada ese año, alcanzó la categoría uno en la escala de Saffir-Simpson, ocasionando lluvias torrenciales, al momento de combinar su efecto con la tormenta tropical Manuel que fue el decimosexto ciclón





Figura 4. Fotos de la zona días posteriores al evento 20 de Septiembre 2013



Figura 5. Daños en estructuras viales en los distritos de la Mixteca

Se observa grandes daños presentados en la zona (figura 5), se desgajaron cerros y generaron problemas en los taludes de las carreteras, las redes eléctricas sufrieron daños y hubo pérdida de varios postes eléctricos por erosión. Dentro del recorrido se presentaron particularmente varias fallas en los taludes, derrumbes, deslaves, y fallas en alcantarillas a continuación se presentan algunos kilometrajes particulares.

### 2.3.1 Km 96+700 (Alcantarillas insuficientes, sobrepasa carpeta asfáltica)

Los escurrimientos sobrepasaron la carpeta asfáltica, generando inestabilidades y erosión en los cimientos del muro cabezal que recibía la alcantarilla, por lo que se perdió esta estructura, aunado a esto la alcantarilla se satura de material de arrastre y se obstruye, generando saturación en el cuerpo del terraplén y pérdida del mismo por erosión (figura 6).

### 2.3.2 Km 97+700 Falla rotacional por saturación y erosión al pie de talud

Deslave, Falla local rotacional, por la verticalidad de su escarpe, se tuvo que remover el terreno fallado y

reestructurar con un muro mecánicamente estabilizado desplantado en zona fuera de falla, se debe prestar especial atención al drenaje de la zona, ya que es propensa a más fallas (figura 7).



Figura 6. Deslizamientos en el tramo Km 96+700



Figura 7. Falla en carpeta asfáltica provocada por deslizamiento en el Km 97+700

### 2.3.3 Km 100+960 Debris Flow, Flujo de detritos

Deslizamiento en flujo, dentro de los 87.5 km recorridos se observaron varios sitios con flujo de detritos, donde causaron grandes daños, sobrepasaron las carpetas asfálticas, y barrieron con todo a su paso, árboles, casas, cultivos, en estos puntos críticos se

recomendó hacer un estudio más a detalle para poder trabajar algún proyecto en particular como presas filtrantes y de retención de sólidos a lo largo del fenómeno para mitigar el riesgo a la población (figura 8).

### 2.3.4 Km 100+900 al 101+100

Uno de las dos fallas más grandes de todo el tramo, con gran pérdida de volumen en Terraplén de camino, pérdida total de pavimento, erosión en taludes y en talud de terraplén, la falla en su mayoría fue provocada por el aumento de velocidad en cañada y en la obstrucción de alcantarillas (figura 9). Aunado a todas las fallas presentadas por este evento, se detectaron algunos sitios que presentan las líneas de erosión muy marcadas que eventualmente ocasionaran fallas si no son tratados debidamente (figura 10). En general observamos que la zona de la Mixteca fue muy dañada por el evento ya que presenta mucha erosión, debido a la sobre

explotación de sus recursos madereros (tabla 1). Se recomienda generar una campaña de detección de probables zonas de falla para comenzar la cultura de prevención de riesgos. Se tuvo que reconstruir gran parte del camino para afrontar los próximos eventos meteorológicos que pudieran presentarse, dentro de los que se encontraron, ampliación de las capacidades hidráulicas de las obras de drenaje, reconstrucción de muros de gaviones, y mecánicamente estabilizados, presas de gavión en laderas para retención de sólidos.

El contar con la seguridad en esta infraestructura carretera es esencial para el buen funcionamiento comercial y de servicios de la zona en la región Mixteca.



Figura 8. Flujo de detritos ocasionado por deslizamiento de terreno superficial en el Km 100+960



Figura 9. Deslizamientos en el tramo del Km 100+900 al 101+100

Tabla 1. Resumen de eventos presentados y soluciones propuestas para estabilización

Kilometraje	Falla	Solución Propuestas
Km 80+700	Saturación de alcantarilla, escurrimiento sobrepaso carretera asfáltica, erosión a pie de muro provocando falla de muro	Muro mecánicamente estabilizado, con especial atención a protección contra erosión en la salida de alcantarilla, presa de retención de sólidos en cañada para evitar saturación con palizadas.
Km 87+500	Falla de talud vertical por saturación y erosión	Revestimiento de talud con Geomanta Plástica y Malla Metalica para refuerzo.
Km 96+000	Falla local sobre terraplén, se detecta un deslizamiento traslacional, se ve antiguo, la lluvia acelero el proceso de falla.	Se requiere levantar carpeta y detectar profundidad de falla para reconstruir un muro mecánicamente estabilizado con especial atención a los drenajes e incluir análisis de falla global para aumentar los factores de seguridad.
Km 96+700	Falla de muro por erosión al pie del cimiento, obstrucción de alcantarilla, pérdida de alcantarilla y muro.	Reconstrucción de estructura de terraplén con un muro mecánicamente estabilizado, y alcantarillas, generar presas retenedoras de sólidos para controlar arrastres.
Km 97+700	Falla local rotacional, por la verticalidad de su escarpe se tiene que remover todo el volumen de falla	Reconstrucción de estructura de terraplén con un muro mecánicamente estabilizado, con protección de erosión a pie de muro
Km 100+960	Deslizamiento en flujo que saturo alcantarillas, solamente una está en funcionamiento de las dos colocadas	Construcción de presas retenedoras de solidos y disminución de velocidades
Km 100+960 al 101+100	Zona de las más afectadas, deslizamiento de talud, formación de cárcava de erosión, erosión de talud donde se desplantaba el terraplén de la carretera, casas dañadas	Construcción de presas retenedoras de solidos y disminución de velocidades en la zona de cárcavas, limpieza del talud y control de erosión con biomantos o mantos plásticos, con Malla Doble Torsión, generación de terrazas para reconstrucción de carretera con muros mecánicamente estabilizados y alcanzar el nivel de carretera, puede ser muro vegetado o de piedra dependiendo de la cantidad en la zona
Km 102+400	Taludes erosionados por la lluvia, la corriente de arrastre acabó con la estructura carretera, se tiene una gran erosión a lo largo y pie del talud, se llevó la tubería colocada como alcantarilla y el muro seco que se tenía como cabezal.	Terrazas de muros mecánicamente estabilizados el nivel de carretera, y proteger las alcantarillas con presas de control de sólidos, además del revestimiento del talud con geomanta y malla triple torsión.
Km 103+300	Falla sobre estructura de terraplén de forma rotacional, perdiendo un carril enteramente de circulación, debido a la erosión del talud, y saturación de terraplén.	Limpiar en la falla todo el volumen de material suelto, y construir sobre esta un muro mecánicamente estabilizado, con especial atención en el drenaje del muro, y control al pie del mismo.
Km 104+200, 105+300, 105+800	Taludes erosionados por la lluvia	Revestimiento de talud con Geomanta Plástica y Malla Doble Torsión, además colocación de muros alcantía para control de graneó
Km 106+600	Falla por erosión en cárcava, el escurrimiento sobrepaso las capacidades hidráulicas instaladas en la estructura del terraplén haciéndolo colapsar en gran parte del talud.	Reconstruir con terrazas de muros mecánicamente estabilizados, y buen control de alcantarillas, y cunetas
Km 106+900	El control hidráulico de los escurrimientos es insuficiente, la estructura al ser un muro seco y no permeable recibe grandes empujes hidrostáticos, ya se observa una falla de muro, socavaciones en cimentación de las nuevas estructuras, también en la cuneta superior se genera una vorticidad que esta generando socavación en el muro lateral	Se recomienda generar un muro mecánicamente estabilizado cara piedra, y un control de escurrimientos, alcantarillas, cunetas y geodrenes en la parte de talud, para controlar las saturaciones y los niveles de agua freáticos de la zona. Además de que los controles hidráulicos se logren con escaleras disipadoras
Km 117+800	La estructura colapso en su totalidad, teniendo que reconstruir todo el cuerpo del terraplén y colocándole alcantarillas para poder controlar el flujo.	Sustituir el terraplén actual por un terraplén reforzado, pero que cuente con una alcantarilla de gran claro.
Km 120+900	En este cadenamiento se observo saturación de alcantarillas, rebase de carpeta asfáltica, socavación de muros cabezales, y generación de cárcavas.	Colocar muros mecánicamente estabilizados, así como la protección con presas de retención de solidos de las alcantarillas, o en su defecto colocar una alcantarilla de gran claro, también se recomienda proteger las cárcavas y generar presas de retención de solidos.

### **3. RESEÑA DE LOS DERRUMBES Y DESLIZAMIENTOS EN REPÚBLICA DOMINICANA**

#### *3.1 Ámbito geográfico y climático*

Como en muchos países de la región, la ocurrencia de estos fenómenos forma parte de una amplia gama de movimientos en masa causados por el agua y el efecto de la gravedad, principalmente. En República Dominicana existen condiciones naturales que favorecen los movimientos de masas más bruscos, como los derrumbes y deslizamientos, debido a que más del 60% del territorio presenta relieve irregular con pendientes inclinadas a muy escarpadas, un clima húmedo a sub-húmedo intertropical con alta frecuencia de eventos climáticos extremos, altas precipitaciones y altas temperaturas, además, sequías estacionales cada vez más frecuentes por causas atribuibles a tendencias o manifestaciones de cambios climático. Sin omitir la alta vulnerabilidad sísmica debido al origen y a la ubicación del país en el arco de las Antillas, debido al impacto potencial de los terremotos en los derrumbes y deslizamientos. Algunos estudios han hecho énfasis de forma general en la problemática de los derrumbes y deslizamientos por la amenaza que representan para grandes núcleos poblacionales que ocupan áreas muy vulnerables a estos fenómenos, cuyos efectos solo adquieren relevancia, visibilidad y atención limitada de forma ocasional durante la ocurrencia de eventos extremos como huracanes y tormentas.

#### *3.2 Contexto biofísico*

El capital natural de la Rep. Dominicana ha sido impactado de forma significativa en las últimas décadas debido a cambios de uso de la tierra importantes y reducción de la masa boscosa para dar paso a la ganadería extensiva, una cuña urbana en suelos de montaña con fines eco-turístico y la agricultura intensiva. Estos cambios han impactado el régimen hidrológico forestal, y los flujos de escorrentía, creando condiciones de torrencialidad que contribuyen a movimientos de partículas por erosión hídrica y por remoción masal. A ello contribuye, además, la predominancia de suelos muy susceptibles a estos fenómenos, debido a su origen a partir de materiales poco consolidados provenientes de rocas sedimentarias en mayor proporción, que generan características físicas tales como texturas franco gruesas y gruesas, con débiles desarrollo estructural que favorecen los derrumbes, o bien,

sustrato de granulometría fina que actúan como planos de deslizamientos de grandes masas de suelo.

#### *3.3 Áreas más afectadas*

En este contexto, las áreas con mayor potencial de afectación lo constituyen caminos y vías de importancia que presentan taludes sin revegetación ni obras mecánicas para contrarrestar los derrumbes y deslizamientos y disminuir riesgos de accidentes fatales; obras de infraestructuras hidráulicas, como presas de uso múltiples, canales de riego y obras de toma para acueductos, y núcleos poblacionales que habitan áreas de piedemontes. Además, áreas próximas a fallas activas como el caso del límite norte del Valle del Cibao con la falla Septentrional, debido a que este valle constituye la principal zona agrícola de la República Dominicana, y esta falla es la más importante de casi toda la región caribeña. En términos territoriales, la mayor susceptibilidad corresponde a las cuencas hidrográficas localizadas hacia la región sur, sur central y suroeste y, en menor medida, en las zonas norcentral y noroeste del país. En estas zonas existe una alta densidad poblacional y un importante desarrollo hidráulico. En general, los núcleos poblacionales más vulnerables se ubican en áreas bajas y en laderas con pendiente muy inclinadas donde han construido viviendas. Estas situaciones son muy comunes en cinturones de miseria alrededor de grandes ciudades y particularmente en la región nordeste, donde se presentan las mayores precipitaciones en la época lluviosa.

#### *3.4 Contexto político-estratégico*

A pesar del impacto de esos movimientos masales en términos económicos, debidos al azolvamiento de obras de infraestructuras hidráulicas de gran valor estratégico para el país, y en la obstrucción de vías y las pérdidas humanas que pueden causar entre la población, entre otras consecuencias, no existen políticas y estrategia definidas por parte del Estado que contribuyan a mitigar o disminuir los riesgos descritos. Hasta el momento, no existe ninguna disposición para la creación de organismos especializados para su atención ni se han priorizado la formulación de estudios específicos y propuestas concretas para la solución de los impactos de los derrumbes y deslizamientos en la economía y la seguridad de las personas; la mayoría de obras viales presentan taludes con pendientes inadecuadas que no reciben el tratamiento indicado para controlar los movimientos en masa, debido a fallas de supervisión

y/o problemas de diseño, y costosas obras son afectadas reduciendo su vida útil. Y se carece de un instrumento legal de valor como es una Ley de Ordenamiento Territorial. En este contexto, las perspectivas futuras apuntan a una intensificación de la problemática analizada, debido a las consecuencias de las debilidades y falencias institucionales y la cada vez mayor incidencia de los cambios climáticos globales, en cuya discusión en foros nacionales e internacionales se ha establecido la alta vulnerabilidad de países insulares como la República Dominicana.

#### 4. CONCLUSIONES

Este trabajo se presenta una breve reseña sobre eventos relacionados con deslizamientos de terreno

superficiales, considerando a la lluvia como principal factor de detonación. Se describieron los desastres ocasionados por los deslizamientos que fueron inducidos por el huracán Ingrid en combinación con la tormenta tropical Manuel, en México, en el estado de Oaxaca, en la carretera 125 D que comunica a Tlaxiaco, la segunda ciudad más importante en la zona conocida como la Mixteca, con el municipio de Putla, la capital del distrito de la sierra sur, en donde se mostraron los daños en los diferentes tramos de esta carretera. De igual manera, se presentó un análisis sobre los impactos sociales, económicos y ambientales que pueden ocasionar los deslizamientos en las regiones más susceptibles de República Dominicana.

#### REFERENCIAS

- Alcántara-Ayala, I., & Oliver-Smith, A. (2014). ICL Latin-American Network: On the road to landslide reduction capacity building. *Landslides*, 11(2), 315–318. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0464-7>
- Alcántara-Ayala, I., & Moreno, A. R. (2016). Landslide risk perception and communication for disaster risk management in mountain areas of developing countries: a Mexican foretaste. *Journal of Mountain Science*, 13(12), 2079–2093. <https://doi.org/10.1007/s11629-015-3823-0>
- Baum, R. L., Godt, J. W., & Savage, W. Z. (2010). Estimating the timing and location of shallow rainfall-induced landslides using a model for transient, unsaturated infiltration. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 115(3). <https://doi.org/10.1029/2009JF001321>
- Godt, J. W., Baum, R. L., & Lu, N. (2009). Landsliding in partially saturated materials. *Geophysical Research Letters*, 36(2), 1–5. <https://doi.org/10.1029/2008GL035996>
- Iverson, R. M. (2000). Landslide triggering by rain infiltration. *Water Resources Research*, 36(7), 1897–1910. <https://doi.org/10.1029/2000WR900090>
- Lanni, C. (2012). Hydrological controls on the triggering of shallow landslides: from local to landscape scale. Tesis Doctoral, Università Degli Studi Di Trento, Italia.
- Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B. D., Mihir, M., & Guzzetti, F. (2018). A review of statistically-based landslide susceptibility models. *Earth-Science Reviews*, 180(November 2017), 60–91. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.001>
- Terzaghi, K. (1950). Mechanism of Landslides. In *Application of Geology to Engineering Practice*. <https://doi.org/10.1130/berkey.1950.83>
- Turner, A. K. (2018). Social and environmental impacts of landslides. *Innovative Infrastructure Solutions*, 3(1), 25–27. <https://doi.org/10.1007/s41062-018-0175-y>

#### Como citar este artículo:

Castillo, P., Vergara, L., Chalas, J., Vicioso, F. (2020). Revisión histórica de los deslizamientos de terreno superficiales causados por lluvias, casos: México y República Dominicana. *Aqua-LAC Volumen 12(1)*, 108-117. doi: 10.29104/phi-aqualac/



Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International  
CC BY-NC-SA 4.0 license