

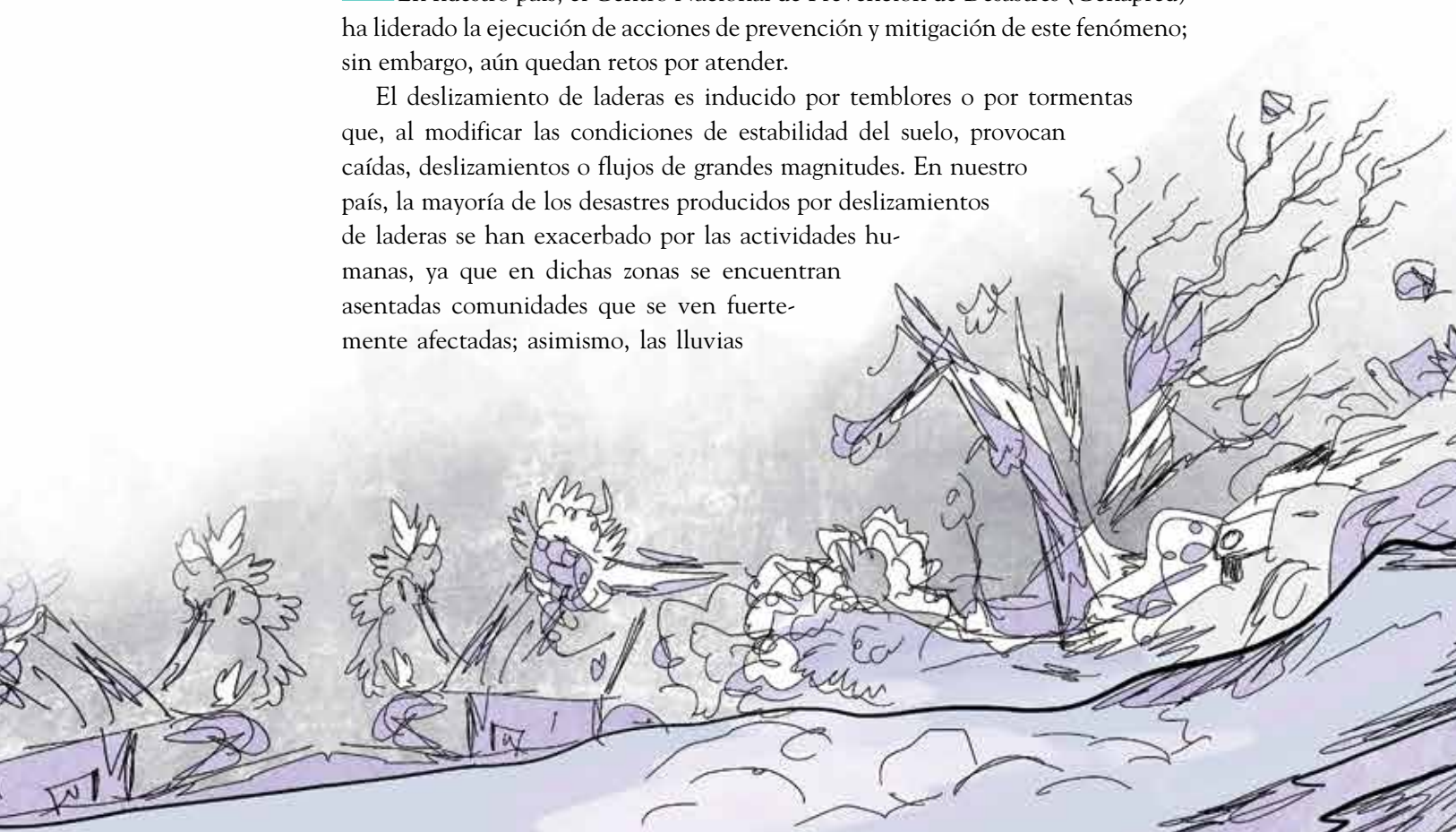
Comunidades amenazadas por deslizamiento de laderas

En este artículo se presentan algunos avances y retos con respecto a la protección y la resiliencia de las comunidades susceptibles de experimentar desastres por el deslizamiento de laderas. Asimismo, se analiza el fenómeno a partir de la mecánica y las herramientas que se han desarrollado para predecirlo, sobre todo, ante la presencia de lluvias intensas. Se incluyen recomendaciones de protección civil para las comunidades amenazadas.

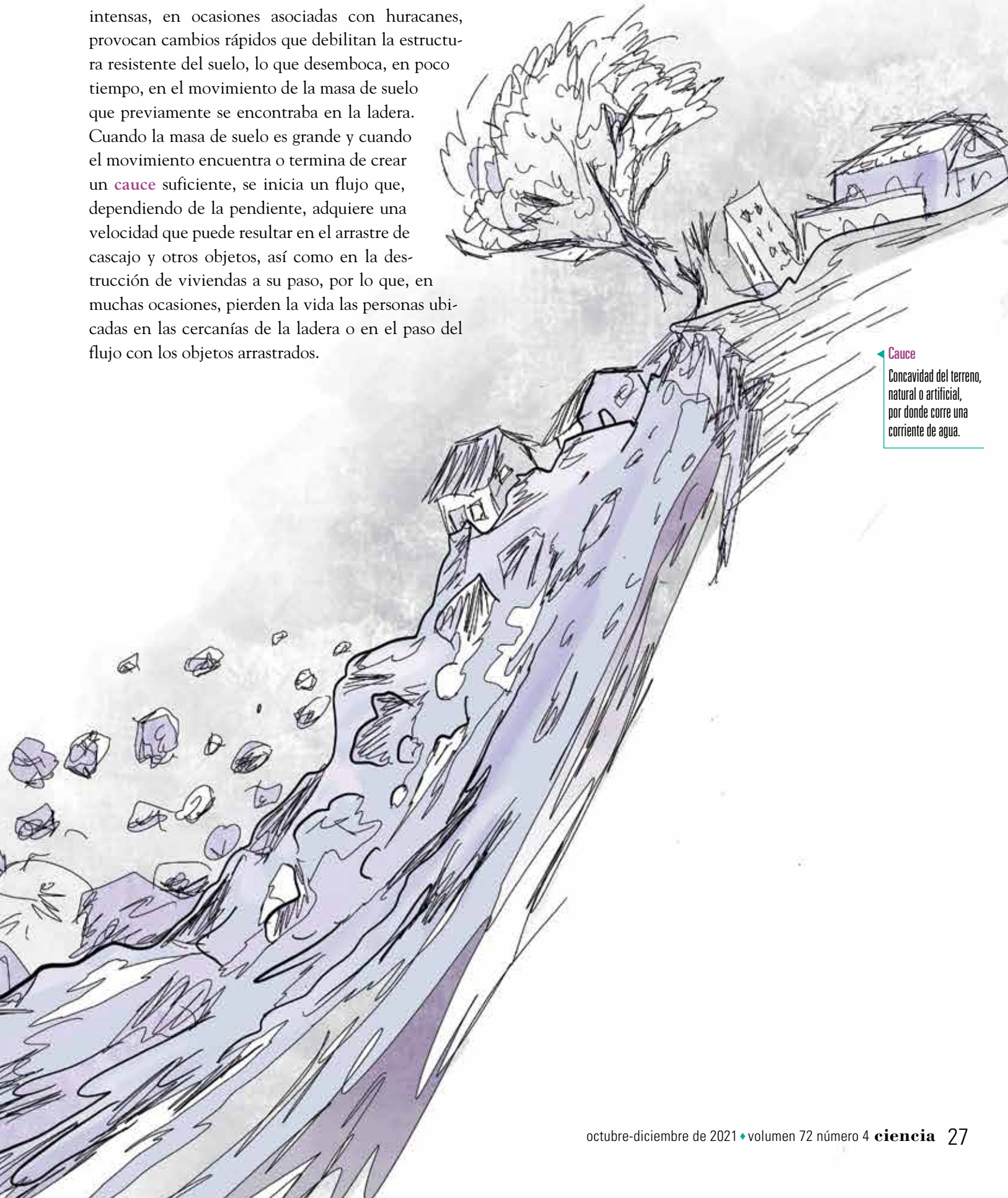
Presentación

La inestabilidad de las laderas ha producido graves desastres tanto en México como en otros países, con pérdidas humanas y daños materiales cuantiosos. En nuestro país, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred) ha liderado la ejecución de acciones de prevención y mitigación de este fenómeno; sin embargo, aún quedan retos por atender.

El deslizamiento de laderas es inducido por temblores o por tormentas que, al modificar las condiciones de estabilidad del suelo, provocan caídas, deslizamientos o flujos de grandes magnitudes. En nuestro país, la mayoría de los desastres producidos por deslizamientos de laderas se han exacerbado por las actividades humanas, ya que en dichas zonas se encuentran asentadas comunidades que se ven fuertemente afectadas; asimismo, las lluvias



intensas, en ocasiones asociadas con huracanes, provocan cambios rápidos que debilitan la estructura resistente del suelo, lo que desemboca, en poco tiempo, en el movimiento de la masa de suelo que previamente se encontraba en la ladera. Cuando la masa de suelo es grande y cuando el movimiento encuentra o termina de crear un **cauce** suficiente, se inicia un flujo que, dependiendo de la pendiente, adquiere una velocidad que puede resultar en el arrastre de cascajo y otros objetos, así como en la destrucción de viviendas a su paso, por lo que, en muchas ocasiones, pierden la vida las personas ubicadas en las cercanías de la ladera o en el paso del flujo con los objetos arrastrados.



Cauce
Concavidad del terreno, natural o artificial, por donde corre una corriente de agua.

Antecedentes

Todos los años en las zonas montañosas de México ocurren numerosos casos de inestabilidad de las laderas que, en ocasiones, llegan a afectar de manera muy severa a las comunidades y vías de comunicación. Históricamente, los estados de Puebla, Guerrero, Veracruz, Oaxaca y Chiapas son donde más casos de inestabilidad de laderas se han presentado. Ello se debe a varios factores de carácter geológico, geotécnico, geomorfológico, climático y antropogénico; un aspecto importante también es su ubicación geográfica, ya que grandes extensiones de sus territorios se encuentran en las vertientes del golfo de México y del Pacífico, por lo que están expuestos al embate de ciclones tropicales y frentes fríos. Por lo tanto, no es raro que sean dichos estados los que más recursos han ejercido del Fondo de Desastres Naturales (Fonden), mediante solicitudes de declaratorias de emergencia o de desastre.

Muchos deslizamientos en México han impactado de manera importante a la población, en su mayoría detonados por lluvias intensas y prolongadas, aunque no se descarta la influencia de la actividad humana en estos casos, debido a cortes, excavaciones, sobrecargas, deforestación, fugas de agua, etcétera. Por otra parte, desde hace algunas décadas se ha planteado que el cambio climático aumentará de forma considerable las precipitaciones, por lo que es

factible que también se incrementen los eventos de deslizamiento de laderas.

Entre los casos más relevantes que se han documentado en el país durante los últimos 30 años, ya sea por las pérdidas humanas que ocasionaron, por los daños materiales que produjeron o por la masa de suelo que se deslizó, se encuentran los flujos de lodo, rocas y escombros acontecidos en Acapulco, Guerrero (véase Figura 1), la madrugada del 9 de octubre de 1997, debido a las lluvias generadas por el huracán Paulina. Además de cuantiosas pérdidas económicas, dejaron un saldo de alrededor de 147 personas fallecidas, 41 desaparecidas y miles de damnificadas (Bitrán, 2001; Villegas, 2005). Dos años después, el 5 de octubre de 1999, un temporal de lluvias muy intensas, generadas por la interacción de la depresión tropical núm. 11 y el frente frío núm. 5, detonó un deslizamiento y flujo de suelos, rocas, árboles y escombros en la ladera noreste de la ciudad de Teziutlán, en Puebla, de alrededor de 7 000 m³ (véase la Figura 2), lo que cobró la vida de 110 personas (Mendoza y Noriega, 1999).



Figura 1. Flujos de roca y escombros detonados por las lluvias intensas generadas por el huracán Paulina, en Acapulco, Guerrero, el 9 de octubre de 1997 (tomada de: <https://www.el-soldeacapulco.com.mx/local/a-21-anos-del-huracan-pauline-acapulco-aniversario-guerrero-lluvias-1112841.html>).



Figura 2. Deslizamiento y flujos de suelos y escombros detonados por las lluvias generadas por la depresión tropical núm. 11 y el frente frío núm. 5 en la ciudad de Teziutlán, Puebla, el 5 de octubre de 1999 (Mendoza y Noriega, 1999).

Algunos años después, tras un temporal de lluvias intensas acaecidas a finales de octubre y principios de noviembre de 2007, debido a los frentes fríos núm. 4 y núm. 5, que originaron una de las peores inundaciones en Tabasco, se produjo un megadeslizamiento y caída de rocas de aproximadamente 55 millones de metros cúbicos. En un instante se obstruyó el cauce del río Grijalva, que en ese punto tenía aproximadamente 280 m de ancho y 25 m de profundidad, a la altura del poblado Juan de Grijalva (véase la Figura 3), perteneciente al municipio de Ostuacán, en Chiapas. Si bien las lluvias fueron extraordinarias, de alrededor de 1 000 mm entre el 28 y el 30 de octubre, el día en que sucedió el deslizamiento, el 4 de noviembre de 2007, no estaba lloviendo, por lo que el evento fue atribuido a la combinación de factores geológicos, geotécnicos e hidrológicos.

Más recientemente, tras las fuertes lluvias producidas por la interacción de los huracanes Ingrid, en el Atlántico, y Manuel, en el Pacífico, en la segunda semana de septiembre de 2013, se presentaron cientos de deslizamientos de diferente magnitud (con volúmenes de algunos metros hasta miles de metros cúbicos) en los estados de Oaxaca, Veracruz y Guerrero. El más destructivo ocurrió el 16 de septiembre, de aproximadamente 25 000 m³ (véase la Figura 4), que sepultó a poco más de un tercio de la comunidad La Pintada, municipio de Atoyac de Álvarez, en Guerrero, y provocó la muerte de 71 personas (Domínguez y cols., 2014).

En México, por medio de las declaratorias de emergencia y de desastre del Fonden, así como de las solicitudes de apoyo del Sistema Nacional de Protección Civil (Sinaproc), el Cenapred ha desarrollado un procedimiento estandarizado de acopio de información y de estudio de casos que se convierten en desastres (Domínguez y cols., 2015), para integrar una base de datos no sólo de los efectos producidos por dichos fenómenos, sino también de las causas que los detonaron. La información disponible se limita a los casos de mayor trascendencia que requieren de la asistencia técnica de especialistas y la aplicación de recursos por parte de los municipios, los estados o la federación. Es por ello que otros fenómenos de igual o menor impacto que no son reportados por



Figura 3. Deslizamiento y caída de roca en la margen derecha del río Grijalva, sucedido el 4 de noviembre de 2007, a la altura de la comunidad Juan de Grijalva, municipio de Ostuacán, Chiapas.



Figura 4. Deslizamiento y flujos de lodo, rocas y escombros detonados por las lluvias intensas debidas a la interacción de los huracanes Ingrid y Manuel, en septiembre de 2013.

los municipios, estados o dependencias del gobierno, como la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), no figuran en los registros del Cenapred (Domínguez y cols., 2015).

Antecedentes en otros países

En el mundo, son varios y variados los casos de inestabilidad de laderas que se han documentado, por lo que, para fines ilustrativos, mencionaremos aquéllos de mayor impacto, según los mismos factores considerados en el resumen nacional.

De acuerdo con los registros del Servicio Geológico de Estados Unidos de América,¹ entre los deslizamientos más catastróficos del siglo XX está el sucedido en la zona central de Tayikistán (antes

¹ Véase: <www.usgs.gov/natural-hazards/landslide-hazards>.

URSS), el 10 de julio de 1949, cuando un sismo de magnitud 7.5 detonó cientos de deslizamientos que causaron la pérdida de alrededor de 20 000 vidas humanas (Wesson y Wesson, 1975). El caso más relevante se presentó en la provincia de Khait (véase la Figura 5), donde se registraron dos derrumbes que se convirtieron en un masivo flujo de rocas, suelos y arenas (**loess**) que arrasaron dos comunidades y cobraron la vida de aproximadamente 4 000 personas (Evans y cols., 2009).

Loess
Material sedimentario formado sobre todo por polvo muy fino de roca arcillosa o calcárea.

Un caso similar se registró en el poblado de Yungay, departamento de Áncash, Perú, tras un terremoto de magnitud 7.7, sucedido el 31 de mayo de 1971, que originó decenas de deslizamientos y derrumbes. El más devastador ocurrió en el flanco norte del Nevado de Huascarán, el cual generó una avalancha de rocas, hielo y nieve que impactó a las comunidades de Yungay y Ranrahirca (véase la Figura 6) y provocó la pérdida de alrededor de 25 000 vidas humanas (Cluff, 1971).



Figura 5. Vista panorámica del derrumbe y flujo de suelos y rocas detonado por el sismo de magnitud 7.5, el 10 de julio de 1949, que impactó a las localidades de Khait y Khisorak. Fotografías tomadas desde el lado opuesto del río Obi-Kabud, donde se aprecia el depósito de materiales producido por el deslizamiento.



Figura 6. Imagen panorámica y esquema del área afectada por la avalancha y el flujo de detritos detonados por el sismo de 7.7, el 31 de mayo de 1971 (Cluff, 1971).

Por otra parte, en 2010 se presentó un deslizamiento en Italia que, aunque no generó decesos, provocó que 2 300 personas tuvieran que ser evacuadas (Figura 7). Las lluvias intensas y la estructura geológica fueron factores que desembocaron en el deslizamiento (John, 2010). Asimismo, en 2019, ocurrió un deslizamiento en Bolivia que dejó tres desaparecidos y más de 40 casas destruidas (Figura 8). Las fuer-



Figura 7. Vista aérea del deslizamiento en Maierato, Italia, en 2010, desde el este.



Figura 8. Deslizamiento en Bolivia, 2019 (tomada de: <https://twitter.com/mindefbolivia/status/112333768317722144/photo/2>).

tes lluvias detonaron el deslizamiento del terreno y de las viviendas que, al parecer, fueron construidas sobre un relleno de basura, que también se deslizó (Strange, 2019).

La física del problema

Una ladera o un **talud** se vuelven inestables cuando se rompe o se pierde el equilibrio de una porción de los materiales que los componen (suelo, roca y vegetación). Las causas de esto son variadas y dependen de factores tanto naturales como humanos, por lo que anticipar su ocurrencia es una tarea compleja y difícil de determinar.

En 1776 Charles A. Coulomb hizo uno de los primeros intentos para modelar matemáticamente el comportamiento mecánico de una ladera o un talud. A partir de los principios básicos de la resistencia de materiales y del entendimiento de la forma en que suceden las fallas en las excavaciones y **terraplenes**, postuló que la falla del terreno obedece a fuerzas que se desarrollan en la potencial superficie de falla o de deslizamiento. De esta manera, propuso que la resistencia de los suelos en el momento de la falla podría representarse mediante la siguiente ecuación: $\tau = c + \sigma \tan \phi$, donde τ es la resistencia al **esfuerzo cortante** de los suelos; c es la cohesión de los suelos o rocas; σ es la presión efectiva en la potencial superficie de falla, y ϕ es el ángulo de fricción entre las partículas de suelos o rocas.

Posteriormente, tomando como base los conceptos de resistencia al esfuerzo cortante de Coulomb y la definición de Wolmar Fellenius del factor de seguridad (FS, véase más adelante), en 1950 Karl Terzagui concluyó que la falla de laderas y taludes se debía a dos factores fundamentales: internos o condicionantes y externos o desencadenantes; estos factores están relacionados, directa o indirectamente, con los esfuerzos cortantes actuantes y resistentes que se desarrollan en la potencial superficie de falla o de deslizamiento.

Los factores internos dependen del origen y de las propiedades de los suelos que componen la ladera, así como de su distribución espacial y, de manera muy particular, de la presencia de agua, la cual ejerce

presiones positivas o negativas dentro de la masa de suelo; las presiones positivas provocan una disminución de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos y rocas. El agua, ya sea por lluvias o cualquier otra fuente, es la principal causa de la disminución de la resistencia de los suelos en la potencial superficie de falla (Mendoza y Domínguez, 2006).

De acuerdo con Karl Terzagui, los factores externos son aquellos sistemas ajenos a la ladera que perturban su estabilidad; esto se debe a que usualmente producen un incremento de los esfuerzos cortantes actuantes, aunque de manera indirecta pueden provocar un cambio en la resistencia al esfuerzo cortante del material que compone el talud. Los factores externos son originados ya sea por fenómenos naturales, tales como las lluvias intensas y prolongadas, como por sismos fuertes y la actividad volcánica, o bien por las actividades humanas (Mendoza y Domínguez, 2006).

Según los registros históricos, la principal causa de los deslizamientos en México es la lluvia, por el efecto que tiene en la saturación del terreno, en el aumento del peso volumétrico del suelo y, de manera más trascendente, en la reducción de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos (por efecto de la **presión de poro**). Por lo tanto, el monitoreo de las precipitaciones resulta trascendental para conocer la intensidad o la cantidad de lluvia acumulada que se requiere para que en una zona o región determinada se detone un deslizamiento. Los valores límite o máximos de lluvia que originan deslizamientos son conocidos como umbrales; su determinación, a partir de casos documentados, es de gran relevancia para fines de prevención de desastres relacionados con este tipo de fenómenos.

Al respecto, la forma más simple de estimar los aspectos que intervienen en el grado de estabilidad de una ladera descansa en el concepto de factor de seguridad (FS), propuesto en 1922 por Wolmar Fellenius. Este parámetro adimensional resulta de dividir las fuerzas que se oponen a la falla de la ladera o talud –también conocidas como fuerzas resistentes (F_R)– entre las que tienden a producir la falla –conocidas como actuantes (F_A)–. Matemáticamente, se representan mediante la ecuación:

Talud

Inclinación o pendiente del terreno; puede ser natural o formado por el ser humano.

Terraplenes

Volúmenes de tierra con los que se rellena un terreno para levantar su nivel.

Presión de poro

Presión que ejerce el agua subterránea atrapada en el suelo o en la roca.

Esfuerzo cortante

Esfuerzo interno de las tensiones paralelas a la sección transversal de un prisma mecánico.

$$FS = \frac{F_R}{F_A}$$

Las F_R se determinan a partir de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos o de las rocas que componen las laderas (véase la Figura 9a). Por su parte, las F_A dependen principalmente del peso de los materiales que componen la ladera, así como de sus características geométricas y volumétricas. También influye el peso de las construcciones y cualquier sobrecarga adicional impuesta por las actividades humanas o por acciones dinámicas, como las producidas por eventos sísmicos (véase la Figura 9b). Ambos factores pueden ser modificados por la presencia o ausencia de agua contenida en los poros del subsuelo.

Para determinar los valores de las F_R se requieren estudios puntuales de mecánica de suelos y pruebas geotécnicas de campo con extracción de muestras de suelo; además, se debe llevar a cabo el levantamiento topográfico del terreno y la medición de la presión de poro en el sitio determinado. La resistencia al esfuerzo cortante de los suelos depende principalmente de las condiciones geológicas y climáticas de una región, lo cual varía en el espacio y en el tiempo. Como hemos mencionado, las F_R se pueden determinar mediante pruebas de campo o de laboratorio, en tanto que las F_A por peso propio y por cargas aplicadas se determinan con suficiente precisión a partir de las condiciones geométricas y pesos volumétricos. Con esta información es posible realizar análisis cuantitativos de

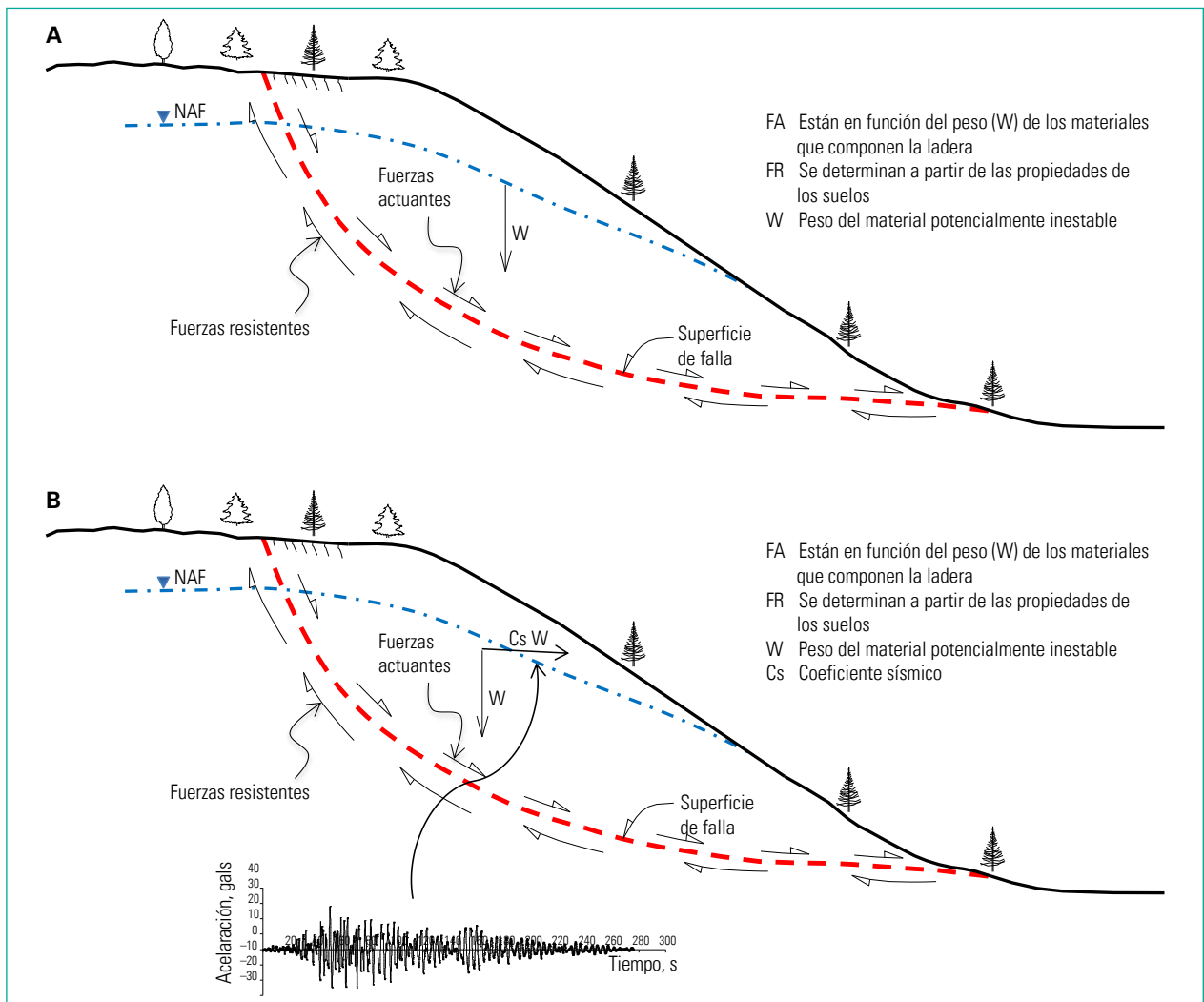


Figura 9. Ilustración de la mecánica de deslizamientos.

estabilidad, en los que se determina el FS global para cada caso.

En el Cenapred se desarrollaron diversos trabajos que han derivado en acciones para identificar, prevenir y mitigar las posibles causas de los deslizamientos en diferentes lugares de México, así como para prevenir a las personas y a las autoridades para que puedan implementar estrategias con el objetivo de salvaguardar sus vidas y pertenencias.

Aspectos esenciales de la mitigación y la prevención

Modelos y métodos para analizar la inestabilidad de las laderas (sin incertidumbre)

Si bien los eventos naturales como los sismos y las lluvias son inevitables, su impacto se convierte en un desastre cuando la población no está preparada para enfrentarlos o reducirlos. La estabilización de laderas o de taludes es una práctica muy frecuente en la construcción de caminos, carreteras, líneas de transmisión, túneles, puentes y desarrollos habitacionales. Su consideración debe influir en la viabilidad de proyectos constructivos e inversiones, a partir de lo que determinen las personas especialistas en geología, geotecnia, geomorfología, geofísica, topografía y otras disciplinas de las ciencias de la tierra. Gracias al desarrollo de la tecnología, el diseño de obras y los análisis de estabilidad se han facilitado; sin embargo, la selección del método o métodos de estabilización o de reforzamiento requiere del conocimiento a profundidad de la física del problema, así como la comprensión de las causas y las variables que intervienen en los procesos de inestabilidad.

A partir de la definición del concepto de factor de seguridad, pero ahora en términos de la resistencia media al esfuerzo cortante (τ_f) y el esfuerzo cortante medio (τ) que actúa en la potencial superficie de falla, se estableció la siguiente ecuación: $FS = \tau_f / \tau = \text{fuerzas resistentes} / \text{fuerzas actuantes}$. Por lo tanto, para que una ladera falle, es necesario que $\tau_f = \tau$, por lo que $FS = 1$. Cuando más aumenta τ o disminuye τ_f , las posibilidades de que se presente la falla de una ladera se incrementan.

Por lo tanto, las obras de mitigación o de estabilización que se deben implementar en las laderas y los taludes deben buscar aumentar las fuerzas resistentes, o bien disminuir las fuerzas actuantes. Para ello, se recurre a métodos de análisis para modelar cada técnica y, luego de un análisis costo-beneficio, establecer cuál es la mejor técnica de estabilización para determinados tipos de suelos, morfología del terreno y factores externos que tienden a producir la falla.

Impacto de las incertidumbres

Otro aspecto que agrega complejidad a los esfuerzos de análisis, modelación y predicción del comportamiento de las laderas es la incertidumbre en las propiedades mecánicas e hidráulicas del suelo, en las características de intensidad y duración de lluvia y en la forma en que el agua se infiltra en el suelo y altera la estructura de las presiones de poro; éstos son algunos de los parámetros que determinan el equilibrio de fuerzas que, a la postre, derivan en la inestabilidad de la ladera. Desde la probabilidad y estadística se aportan elementos técnicos para aproximar el modelo que permite analizar tanto las condiciones iniciales como las de escenarios subsecuentes en los que el agua incrementa la susceptibilidad a la inestabilidad de la ladera. Estos parámetros se pueden modelar como variables aleatorias cuya distribución probabilista puede aproximarse mediante pruebas geotécnicas de laboratorio o estudios previamente reportados en la literatura para sitios similares al de la ubicación de la ladera.

Este tipo de técnicas permite que, en vez de que el resultado sea un número discreto, se pueda tener la distribución de probabilidad del factor de seguridad. Esta medida permite la versatilidad de usar simplemente el valor medio o usar percentiles, mayores de 50%, que implícitamente contengan un margen conservador adicional al que tendría el valor medio. Así, en las laderas donde las consecuencias de falla o de deslizamiento sean mayores que en otros casos, se podrían tomar decisiones con base en percentiles de 70, 80 o 90, y así el margen conservador dependerá de la gravedad de las consecuencias de falla. Lo anterior, en cierta forma, equivale a tomar decisiones exigiendo un factor de seguridad mayor a 2, 3 o 4, en

vez de la práctica convencional de solamente pedir que el factor de seguridad sea mayor que 1.

Efecto detonante de las lluvias

En otros lugares del mundo se han realizado diversos estudios que consideran el efecto de la lluvia sobre la pérdida de estabilidad en las laderas. Por ejemplo, un grupo de investigadores de Italia (Sorbino y Nicotera, 2013) estudió la predicción probabilista de fallas en laderas inducidas por lluvia mediante un modelo basado en la mecánica de la falla.

Recientemente, en un trabajo patrocinado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (De León, 2018), se incorporaron aspectos probabilísticos implícitos en la variabilidad de las propiedades del suelo y en las características de las lluvias (intensidad y duración) para establecer una priorización en la atención a la posible inestabilidad, a partir del cálculo de la probabilidad de falla de la ladera y considerando la magnitud de las pérdidas esperadas como consecuencia de la falla. Uno de los productos de este estudio fue la generación de métricas para priorizar la gravedad de la inestabilidad entre varias laderas críticas. Durante el proyecto se realizaron trabajos de campo en varios sitios, que consistieron en el levantamiento topográfico y la recuperación de muestras de suelo. Uno de los lugares analizados fue la barranca de Mapalco, en Santa María Nepopualco, del municipio de Huejotzingo, en Puebla. En esta barranca ya habían ocurrido derrumbes y la



Figura 10. Barranca de Mapalco, Santa María Nepopualco, municipio de Huejotzingo, en Puebla.

profundidad era de más de 50 m, como se observa en la Figura 10.

La importancia de considerar el efecto de la lluvia radica en la reducción drástica de la resistencia del suelo ante las fuerzas que tienden a provocar el deslizamiento o la inestabilidad de la ladera. El volumen de agua que se infiltra al suelo incrementa rápidamente la susceptibilidad al deslizamiento y, por lo general, no da mucho tiempo para evacuar a las personas que se encuentran cerca del sitio ni para poner a salvo sus pertenencias. De ahí que la intensidad y duración de la lluvia tenga mucho que ver en la posibilidad de que pronto ocurra el deslizamiento, sobre todo cuando el suelo es blando y la pendiente de la ladera hace más propicio el fenómeno del deslizamiento. Por ello, es de extrema pertinencia considerar la resistencia del suelo, que se ve reducida ante la presencia (corta o prolongada) de humedad; en general, los suelos parcial o totalmente saturados tienen menor resistencia que los suelos secos. Además, el peso de la ladera (y en consecuencia el ángulo de inclinación y la geometría) influye en la magnitud de las fuerzas que tienden a producir el deslizamiento.

La complejidad antes descrita hace que algunos especialistas llamen a este fenómeno el peligro geo-hidro-meteorológico, pues se deben tomar en cuenta éstos y otros factores para tratar de pronosticar la susceptibilidad a la inestabilidad y los niveles de consecuencias del deslizamiento. Una de las formas para analizar la estabilidad de las laderas es mediante paquetes de cómputo que facilitan el cálculo de la estabilidad de taludes.

Estrategias de mitigación

Avances en el Cenapred

Otros factores que contribuyen a incrementar la susceptibilidad y el riesgo son de tipo antropogénico (como las prácticas de arrojar aguas de deshecho en asentamientos arriba de la ladera, la tala inmoderada, los incendios forestales, entre otros). Para cambiar esta tendencia se requiere un mayor trabajo de concientización entre la población y las autoridades, ya sea para administrar mejor el territorio, o bien

para conocer y aplicar medidas que permitan proteger a las comunidades a partir de una colaboración continua. Con ello se podrán evitar prácticas que vulneren su seguridad, gracias a un trabajo conjunto y coordinado que privilegie la gestión de riesgos, desde la planeación de los asentamientos humanos hasta la identificación de las etapas tempranas de los procesos de inestabilidad, mediante la detección oportuna de las señales o rasgos precursores de deslizamientos. O bien, en su defecto, se debe lograr el convencimiento para evacuar a la población (con las medidas correspondientes de protección a los bienes de los individuos) en el momento en que fuera indispensable. Esto forma parte de los retos del Sistema Nacional de Protección Civil, enmarcados en la cultura de la autoprotección y la generación de confianza con las comunidades.

La transversalidad del tema con otros relativos al uso del suelo y el control de la deforestación, en algunos casos, resulta evidente. Por ejemplo, para la prevención y el control de los incendios forestales, la permisividad de algunas autoridades resulta esencial al dejar que las comunidades se asienten en zonas claramente identificadas como riesgosas. Los incendios que ocurrieron recientemente en México dan cuenta de la interrelación entre el peligro del incendio y el peligro de deslizamientos en zonas donde, sin vegetación que pueda contribuir a proteger la ladera o su vecindad, se incrementa la susceptibilidad a la inestabilidad cuando llegan las lluvias.

El reto de lograr comunidades resilientes en México

Dadas las enormes pérdidas humanas y económicas que se producen en nuestro país por los desastres asociados a este fenómeno, resulta altamente conveniente trabajar primero para evitar o mitigar los desastres y, en segundo lugar, para tener comunidades resilientes que logren una recuperación rápida si el deslizamiento ocurre. Para ello, se deben mejorar las acciones de mitigación (cortes de laderas, instalación de refuerzos como barras o mallas, drenajes, etc.), los sistemas de alerta oportuna, los ejercicios de simulacro de deslizamientos y la comunicación en un trabajo conjunto con las comunidades afectadas, entre otros esfuerzos de prevención.



Avalancha de tierra y lodo en la colonia Las Colinas de Santa Tecla, durante el terremoto de enero de 2001 en El Salvador. Fuente: Wikipedia.

De manera importante, conviene reforzar la coordinación y el trabajo conjunto entre instituciones y dependencias. Un ejemplo de ello es la reactivación, el 2 de julio de 2019, del Comité Técnico de la Estrategia Nacional de Mitigación del Riesgo por Inestabilidad de Laderas, conocido como comité técnico de Miladera (Cenapred, 2019). Así, se amplía la participación con especialistas de la Comisión Federal de Electricidad, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, la Comisión Nacional Forestal, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, la Comisión Nacional del Agua, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes,



Deslizamiento de tierra en Cuzco, Perú, en 2018. Fuente: Ministerio de Defensa del Perú, <https://www.flickr.com/photos/ministeriodedefensaperu/39935939755/in/dateposted/>

la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, el Servicio Geológico Mexicano, la Universidad Autónoma del Estado de México, el Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa y la Universidad Nacional Autónoma de México, entre otras instituciones.

Adicionalmente, es altamente recomendable promover la formación especializada de profesionales en las instituciones de educación superior de nuestro país, especialmente en los estados donde se presenta con frecuencia este tipo de fenómeno.

Conclusiones

En el contexto de los avances y las iniciativas recientemente formuladas, se aprecia que hay un espacio para el optimismo, ya que los retos y las oportunidades pueden alcanzarse mediante la cooperación, coordinación y el compromiso por la seguridad y el bienestar de las comunidades expuestas al peligro de



Daños causados por deslave en Atoyac de Álvarez, Guerrero; por lluvias provocadas por el huracán "Manuel", septiembre de 2013, Fuente: <https://www.flickr.com/photos/presidenciamx/14298740643/in/album-72157644450963367/>

los deslizamientos de laderas. La cooperación y las alianzas pueden potenciar la carrera hacia la mitigación de desastres que tienden a ocurrir cada temporada de lluvias, a partir de aprovechar los talentos y experiencias en varias instituciones. La coordinación permite optimizar los recursos para reducir repeticiones y traslapes en esfuerzos individuales y de grupos que, por no comunicarse, limitan la eficacia de las acciones. En tanto, el compromiso de todos coadyuva al logro de metas, con velocidad razonable, al tiempo que se evitan protagonismos y burocracias. Todo esto fomenta el desarrollo de productos y acciones que contengan el mayor valor y calidad, con mediciones objetivas y un seguimiento adecuado para proteger a las comunidades que están amenazadas.

Los autores agradecen el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), mediante su Programa de Problemas Nacionales, para la realización del proyecto de investigación de cuyos resultados se deriva parte del presente trabajo.

Leobardo Domínguez Morales

Centro Nacional de Prevención de Desastres.
ldm@cenapred.unam.mx

David de León Escobedo

Universidad Autónoma del Estado de México.
dleon@uaemex.mx

Referencias específicas

- Bitrán, D. (2001), *Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el período 1980-99*, Impacto Socioeconómico de los Desastres en México, t. I, México, Secretaría de Gobernación/Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Cluff, L. S. (1971), "Peru earthquake of May 31, 1970. Engineering geology observations", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 61(3):511-533.
- Domínguez, L., A. Castañeda, A. González y R. Espinasa (2014), *Informe sobre la inestabilidad de laderas ocasionada por el huracán Ingrid y la tormenta tropical Manuel en Guerrero, Veracruz y Oaxaca en 2013*, México, Cenapred.
- Domínguez L., A. Castañeda y V. D. Castillo (2015), "Inventario Nacional de Inestabilidad de Laderas: Formato con macros para la captura y ordenamiento de información georreferenciada", *Informe de Proyecto Anual de Trabajo (PAT) 2014*, México, Secretaría de Gobernación/Coordinación de Protección Civil/Cenapred.
- De León, D. (2018), "Métrica de vulnerabilidad de taludes críticos sujetos a lluvias extremas", XXI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Campeche, México.
- Evans, S. et al. (2009), "Landslides triggered by the 1949 Khatit earthquake, Tajikistan, and associated loss of life", *Engineering Geology*, 109:195-212.
- John, J. (2010), *Landslide Occurances at Maierato, Italy. An Engineering Geological View* (tesis de maestría), Universidad de Pennsylvania, Filadelfia.
- Mendoza, M. J. e I. Noriega (1999), "Deslizamientos de suelos y rocas en Teziutlán, Puebla, provocados por las intensas lluvias de inicios de octubre de 1999", *Informe del Cenapred a la Coordinación General de Protección Civil*, México, Secretaría de Gobernación.
- Sorbino, G. y M. V. Nicotera (2013), "Unsaturated soil mechanics in rainfall-induced flow landslides", *Engineering Geology*, 165:105-132.
- Strange, H. (2019), "Dramatic footage shows Bolivian landslide sweeping away houses", *CNN*. Disponible en: <https://edition.cnn.com/2019/05/01/americas/bolivia-la-paz-landslide-scli-intl/index.html>, consultado el 3 de agosto de 2021.
- Villegas, C. (2005), "Recuperando el paraíso perdido. El proceso de reconstrucción en la ciudad de Acapulco", en V. Acosta (ed.), *La construcción social de riesgos y el huracán Paulina*, México, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social.
- Wesson, V. K. y R. L. Wesson (1975), "Odyssey to Tadzshik—an American family joins a Soviet seismological expedition", *U. S. Geological Survey Earthquake Information Bulletin*, 7(1):8-16.