

Retos en la protección y resiliencia de comunidades susceptibles a desastres por deslizamiento de laderas

Leobardo Domínguez Morales ⁽¹⁾ y David de León Escobedo ⁽²⁾

⁽¹⁾ Centro Nacional de Prevención de Desastres, CENAPRED

⁽²⁾ Universidad Autónoma del Estado de México, UAEM

Presentación

La inestabilidad de laderas ha producido graves desastres, tanto en México como en otros países, con pérdidas humanas y daños materiales cuantiosos. Este fenómeno es inducido por temblores o por tormentas que, al modificar las condiciones de estabilidad del suelo en las laderas, provocan caídos, deslizamientos o flujos con diversos tipos de consecuencias. En México, la mayoría de los desastres producidos por deslizamientos de laderas han sido exacerbados por actividades humanas por lo que lluvias intensas, en ocasiones asociadas con huracanes, provocan cambios rápidos en la estructura resistente del suelo, debilitándola y desembocando, 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, de acuerdo a la pendiente del cauce, adquiere una velocidad que puede resultar en el arrastre de cascajo y otros objetos, así como en la destrucción de viviendas que, en muchas ocasiones, produce fatalidades de individuos ubicados en las cercanías de la ladera o en el paso del flujo con los objetos arrastrados. El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) ha liderado la ejecución de acciones de prevención y mitigación; sin embargo, aún quedan retos por atender.

1) Antecedentes

Cada año, en las zonas montañosas de México ocurren numerosos casos de inestabilidad de laderas que en ocasiones llegan a afectar severamente comunidades y vías de comunicación, causando decesos y cuantiosos daños materiales. Históricamente, los estados de Puebla, Guerrero, Veracruz, Oaxaca y Chiapas son los que más casos de inestabilidad de laderas han reportado (Domínguez y coautores, 2016). Ello se debe a varios factores de carácter geológico, geotécnico, geomorfológico, climático y antropogénico, siendo también un factor importante su ubicación geográfica, ya que grandes extensiones de sus territorios se ubican en las vertientes del golfo de México y del Pacífico, por lo que están expuestas al embate de ciclones tropicales y frentes fríos. Por lo tanto, no es extraño que sean esos estados los que más recursos han ejercido del Fondo de Desastres Naturales (FONDEN), mediante solicitudes de declaratorias de emergencia y/o de desastre.

En México se tienen un gran número de deslizamientos que han impactado de manera importante a la población. La mayoría han sido detonados por lluvias intensas y prolongadas, aunque no se descarta la influencia de la actividad humana en estos casos, como cortes, excavaciones, sobrecargas, deforestación, fugas de agua, etc. Por otra parte, desde hace algunas décadas se ha planteado que el cambio climático aumentará considerablemente las precipitaciones, por lo que es factible que también aumenten los deslizamientos.

Entre los casos más relevantes que se han documentado en México en los últimos 30 años, ya sea por el número de pérdidas humanas que ocasionaron, los daños materiales que produjeron y/o el volumen deslizado, se encuentran los flujos de lodo, rocas y escombros acontecidos en la ciudad de Acapulco, Guerrero (Fig. 1), la madrugada del 9 de octubre de 1997, debido a las lluvias generadas por el huracán Paulina, los cuales, además de las cuantiosas pérdidas económicas que ocasionaron, dejaron un saldo de alrededor de 147 fallecidos, 41 desaparecidos y miles de damnificados (Bitrán, D., 2001 y Villegas, C., 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 (SMN, 1999), detonó un deslizamiento y flujo de suelos, rocas, árboles y escombros en la ladera noreste de la ciudad de Teziutlán, Puebla, de alrededor de 7 mil metros cúbicos (Fig. 2), cobrando la vida de 110 personas, (Mendoza y Noriega, 1999).



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

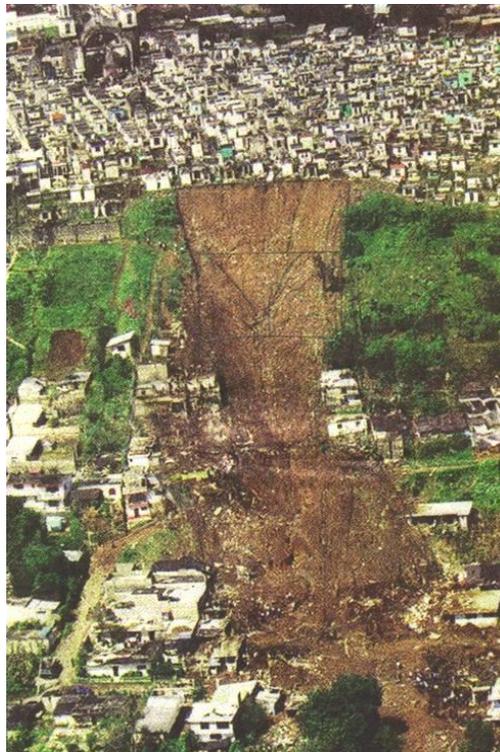


Fig. 2 Deslizamiento y flujos de suelos y escombros detonados por las lluvias generadas depresión tropical Núm. 11 y el frente frío Núm. 5, en la ciudad de Teziutlán, Puebla, el 5 de octubre de 1999 (Mendoza y coautores, 1999)

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 4 y 5, que originaron una de las peores inundaciones en Tabasco, se produjo un mega deslizamiento y caída de roca de aproximadamente 55 millones de metros cúbicos (Domínguez y coautores, 2008), que en un instante obstruyó el cauce del río Grijalva que en ese punto tenía un cauce de aproximadamente 280 m de ancho y 25 m de profundidad, a la altura del poblado Juan de Grijalva (Fig. 3), perteneciente al municipio de Ostucán, Chiapas. Si bien las lluvias fueron extraordinarias, de alrededor de 1000 mm en tres días, entre el 28 y el 30 de octubre, el día en el que sucedió el deslizamiento, el 4 de noviembre de 2007, no estaba lloviendo, por lo que las causas del deslizamiento fueron atribuidas 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, siendo el más destructivo el sucedido el 16 de septiembre, de aproximadamente 25 mil metros cúbicos (Fig. 4), que sepultó a poco más de un tercio de la comunidad La Pintada, municipio de Atoyac de Álvarez, Guerrero, cobrando la vida de 71 personas (Domínguez y coautores, 2014).



Fig. 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 Ostucán, Chiapas (



Fig. 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

En México, a través de las declaratoria de emergencia y de desastre del FONDEN y las solicitudes de apoyo del Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC), el CENAPRED ha iniciado un procedimiento estandarizado de acopio de información y de estudio de casos que se convierten en desastre (Domínguez y coautores, 2015), para integrar una bases de datos, no solo de los efectos producidos por dichos fenómenos, sino también de las causas que los detonaron. La información se limita a los casos de mayor trascendencia que requieren de la asistencia técnica de especialistas y la aplicación de recursos por parte de municipios, estados y/o la federación. Es por ello que otros fenómenos, quizás de igual o menor impacto, que no son reportados por los municipios, estados o dependencias del gobierno como la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), no figuran en los registros del CENAPRED (Domínguez L. y coautores, 2015).

En el ámbito internacional, son varios y variados los casos de inestabilidad de laderas que se han documentado alrededor del mundo, por lo que, para fines ilustrativos, se hará mención de los casos de mayor impacto, según los mismos factores aplicados al resumen nacional.

De acuerdo con registros del Servicio Geológico de Estados Unidos (www.usgs.gov/natural-hazards/landslide-hazards), acerca de los deslizamientos más catastróficos en el siglo XX, uno de los eventos más destructivos fue el sucedido en la zona central de Tajikistan (antes URSS), el 10 de julio de 1949, cuando un sismo de magnitud 7.5, detonó cientos de deslizamientos que causaron la pérdida de vida de alrededor de 20 000 personas (Wesson, V. K. y Wesson, R. L., 1975). El caso más relevante se presentó en la provincia de Khait (Fig. 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, S. y coautores).



Foto sin fecha (Wesson, C. y Wesson, R., 1975)



Foto tomada en 1960 (Evans, S. y coautores, 2009)

Fig. 5 Vista panorámica del derrumbe y flujo de suelos y rocas, detonado por el sismo de magnitud 7.4, el 10 de julio de 1949, que impactó a las localidades de Khait y Khisorak, tomadas desde el lado opuesto del río Obi-Kabud donde se aprecia el depósito de materiales producido por el deslizamiento

Un caso similar sucedió en el poblado de Yungay, Departamento de Áncash, Perú, tras un terremoto de magnitud 7.7, sucedido el 31 de mayo de 1970, que originó decenas de deslizamientos y derrumbes. El derrumbe más devastador fue el sucedido 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 (Fig. 6), causando la pérdida de vida de alrededor de 25 mil personas (Cluff, L., 1971).



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

En 2010 se presentó un deslizamiento en Italia que, aunque no generó decesos, provocó que 2300 personas tuvieran que ser evacuadas. Las lluvias intensas y la estructura geológica presente fueron factores que desembocaron en el deslizamiento. (John, 2010).



Fig. 7 Imagen Vista aérea del deslizamiento en Maierato, Italia, en 2010 (desde el Este)

Recientemente, en 2019, ocurrió un deslizamiento en Bolivia que generó 3 desaparecidos y más de 40 casas destruidas. Las fuertes lluvias detonaron el deslizamiento del terreno y de las viviendas que, al parecer fueron construidas sobre un relleno de basura, que también se deslizó (<https://edition.cnn.com/2019/05/01/americas/bolivia-la-paz-landslide-scli-intl/index.html>).



Fig. 8 Imagen <https://twitter.com/mindefbolivia/status/1123337683177222144/photo/2>

2) La física del problema

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

Uno de los primeros intentos para modelar matemáticamente el comportamiento mecánico de una ladera o talud, fue desarrollado por Charles A. Colulomb (1776), quien, a partir de los principios básicos de la resistencia de materiales y del entendimiento de la forma en que sucedían las fallas en excavaciones y terraplenes, postuló que la falla del terreno obedecía fuerzas que se desarrollaban en la potencial superficie de falla o de deslizamiento. Fue así que propuso que la resistencia de los suelos en el momento de la falla podía representarse mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

Donde:

τ = Resistencia al esfuerzo cortante de los suelos

c = Cohesión de los suelos o rocas

σ = Presión efectiva en la potencial superficie de falla

ϕ = Ángulo de fricción entre las partículas de suelos y/o rocas

Posteriormente, tomando como base los conceptos de resistencia al esfuerzo cortante de Coulomb (1776) y la definición del factor de seguridad (FS) de Fellenius (1922), Terzagui (1950) concluyó que la falla de laderas y taludes se debía a dos factores fundamentales: internos o condicionantes

y externos o desencadenantes; relacionados, directa o indirectamente, con los esfuerzos cortantes actuantes y resistentes que se desarrollan en la potencial superficie de falla o de deslizamiento.

Los primeros 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; siendo las positivas las que 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 que provoca una disminución de la resistencia de los suelos en la potencial superficie de falla (Mendoza y Domínguez, 2006).

De acuerdo con Terzagui (1950), los factores externos son aquellos sistemas ajenos a la ladera que perturban su estabilidad; usualmente producen un incremento de los esfuerzos cortantes actuantes, aunque de manera indirecta pueden producir un cambio en la resistencia al esfuerzo cortante del material que compone el talud. Los factores externos pueden ser originados ya sea por fenómenos naturales, tales como las lluvias intensas y prolongadas, sismos fuertes y actividad volcánica; o bien por actividades humanas (Mendoza, M. J. y Domínguez, L., 2006).

De acuerdo con registros históricos, la principal causa que detona 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 la lluvia juega un papel trascendental para conocer la intensidad o la cantidad de lluvia acumulada que se requiere para que en una zona determinada o región se detone un deslizamiento. Los valores límite o máximos de lluvia que detonan deslizamientos se les conoce como umbrales y su determinación, a partir de casos documentados, es de gran relevancia para fines de prevención de desastres relacionados con este tipo de fenómenos.

La forma más simple de representar los factores que intervienen en el grado de estabilidad de una ladera es a través del concepto del factor de seguridad, FS, planteado por Fellenius (1922). El FS es un parámetro adimensional que 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 siguiente ecuación:

$$FS = \frac{F_R}{F_A} \quad (2)$$

Las F_R se determinan a partir de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos y/o de las rocas que componen las laderas (Fig. 7a). Por su parte, las F_A dependen principalmente del peso de los materiales que componen la ladera y de sus características geométricas y volumétricas. También influye el peso de las construcciones y cualquier sobrecarga adicional impuestas por actividades humanas o por acciones dinámicas como las producidas por eventos sísmicos (Fig. 7b). Ambos factores pueden ser modificados por la presencia o ausencia del agua contenida en los poros del subsuelo.

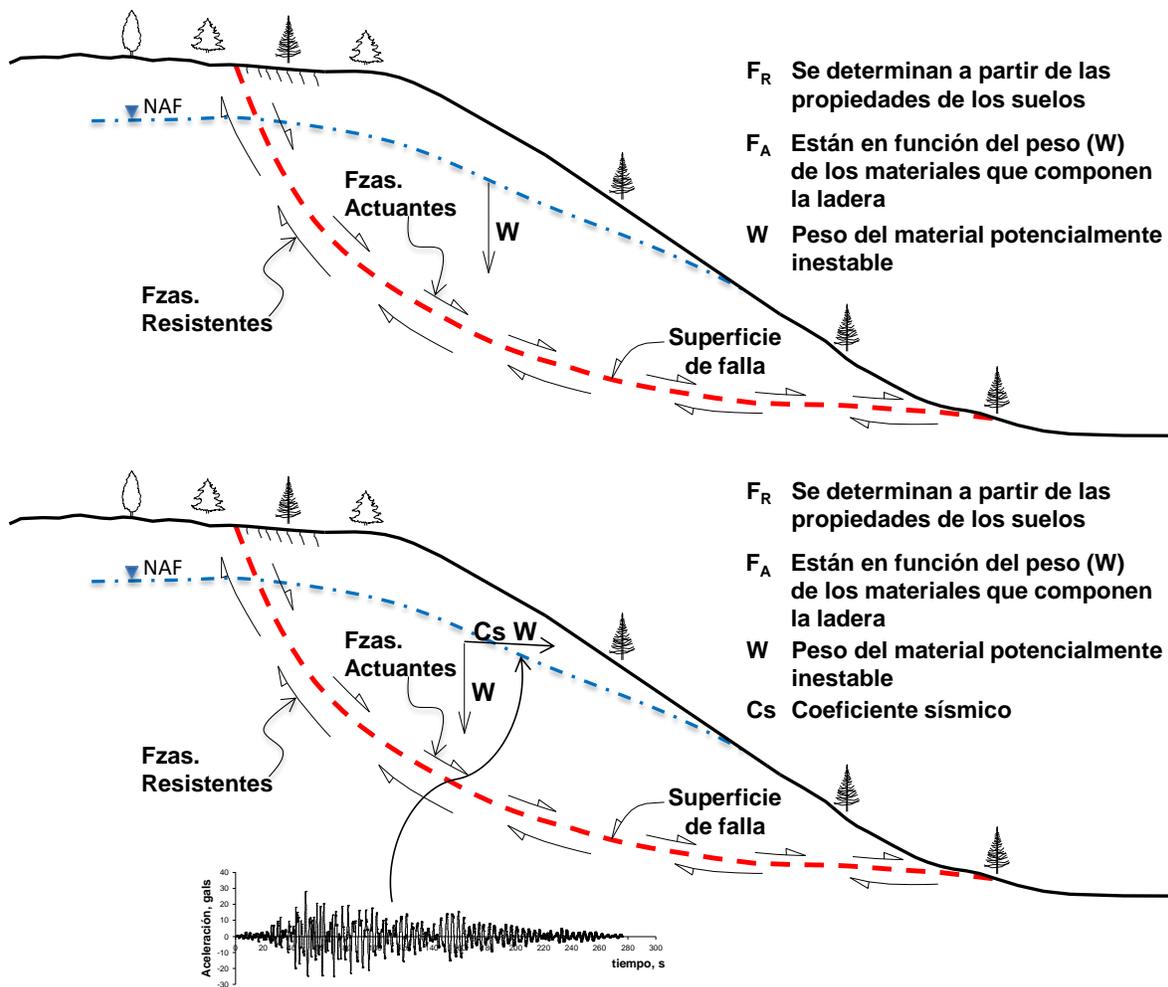


Fig. 9 Ilustración de la mecánica de deslizamientos

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; así como del levantamiento topográfico del terreno y de 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, y varían en el espacio y en el tiempo.

Como se mencionó, pueden ser determinadas mediante pruebas de campo y/o de laboratorio, en tanto que las fuerzas actuantes por peso propio y por cargas aplicadas se determinan con suficiente precisión a partir de sus condiciones geométricas y de pesos volumétricos. Con esta información es posible realizar análisis cuantitativos de estabilidad, en los que se determina el FS global para cada caso.

El CENAPRED ha desarrollado diversos trabajos que han derivado en acciones para identificar, prevenir y mitigar las posibles causas de deslizamientos, así como para difundir la preparación que las personas y las autoridades pueden implementar para salvaguardar sus vidas y pertenencias.

3) Aspectos esenciales de la mitigación y la prevención

3.1 Modelos y métodos para el análisis de inestabilidad de laderas (sin incertidumbre)

Si bien los eventos naturales como los sismos y las lluvias son inevitables, su impacto se convierte en desastre cuando no se está preparado 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 y son determinados por especialistas en geología, geotecnia, geomorfología, geofísica topografía y otras disciplinas de ciencias de la tierra. Con el 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 el conocimiento a profundidad **la física del problema** y la comprensión de las causas y de las variables que intervienen en los procesos de inestabilidad.

A partir de la definición del concepto de Factor de Seguridad, FS, 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 tiene:

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{\text{Fuerzas resistentes}}{\text{Fuerzas actuantes}} \quad (3)$$

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 aumentan.

Las obras de mitigación o de estabilización que se deben implementar en laderas y taludes deben tener como finalidad aumentar las fuerzas resistentes y/o disminuir las actuantes. Para ello, se recurre a métodos de análisis donde se modela cada técnica y, luego de un análisis costo-beneficio, es posible determinar cuál es la mejor técnica de estabilización para determinados tipos de suelos, morfología del terreno y factores externos que tienden a producir la falla.

3.2 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 presiones de poro y que son algunos de los parámetros que determinan el equilibrio de fuerzas que, a la postre, derivan en la inestabilidad de la ladera.

La probabilidad y estadística aporta elementos técnicos para aproximar el modelo que permite hacer un análisis tanto de las condiciones iniciales, como de las de escenarios subsecuentes donde 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.

Estas técnicas permiten que, en vez que el resultado sea un número discreto, el factor de seguridad, 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 al 50%, que implícitamente contengan un margen conservador adicional al que tendría el valor medio. Así, en laderas donde las consecuencias de falla, o del deslizamiento, sean mayores que en otros casos,

se podrían tomar decisiones con base en percentiles 70, 80 o 90, donde el margen conservador dependa 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.

3.3 Efecto detonante de las lluvias

En el mundo, se han realizado diversos estudios que incluyen el efecto de la lluvia sobre la pérdida de estabilidad en las laderas. Por ejemplo, un grupo de investigadores propuso un análisis de confiabilidad de la curva característica agua-suelo (Chiu y otros, 2012) y otro que estudió la predicción probabilista de fallas en laderas inducidas por lluvia utilizando un modelo basado en la mecánica de la falla (Zhang y otros, 2014).

Recientemente, en un trabajo patrocinado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Conacyt (De Leon, 2018), se incorporaron aspectos probabilísticos implícitos en la variabilidad de propiedades del suelo y en las características de las lluvias (intensidad y duración) para establecer una priorización en la atención a la posible inestabilidad, calculando la probabilidad de falla de la ladera y considerando la magnitud de las pérdidas esperadas como consecuencia de la falla. Uno de los productos del estudio fue la generación de métricas para priorizar la gravedad de la inestabilidad entre varias laderas críticas (De León, 2018). En este proyecto se realizaron trabajos de campo en varios sitios que consistieron en el levantamiento topográfico y recuperación de muestras de suelo. Uno de los sitios analizados fue la barranca de Mapalco, en Santa María Nepopualco, del municipio de Huejotzingo, Puebla. En esta barranca ya habían ocurrido derrumbes y la profundidad era de más de 50m, como se observa en la Fig. 10.



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

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, generalmente, no da mucho tiempo para desalojar a las personas que se encuentran cerca del sitio ni para poner a salvo los principales bienes de las mismas. De ahí que la intensidad y duración de la lluvia tenga mucho que ver en la posibilidad 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. Es pues, de extrema pertinencia considerar la posibilidad de que la resistencia del suelo, que se ve reducida ante la presencia (corta o prolongada) de humedad.

Generalmente 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 y que se deban 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 usadas para el análisis de la estabilidad de laderas es el empleo de paquetes de cómputo que facilitan el cálculo de estabilidad de taludes.

3.4 Estrategias de mitigación.

3.4.1 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, etc.). Para cambiar esta tendencia se requiere un mayor trabajo de concientización entre la población y las autoridades, las cuales juegan un papel relevante, ya sea para administrar mejor el territorio, o bien, conocer y aplicar medidas que permitan proteger a la población, a través de una colaboración continua entre comunidades. Con ello se podrán evitar prácticas que vulneren su seguridad, partiendo de 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, a través de una detección oportuna de los síntomas o rasgos precursores de deslizamientos; o en su defecto, 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 ello fuera indispensable. Este es uno de los retos del Sistema Nacional de Protección Civil enmarcados dentro de la cultura de la autoprotección y la generación de confianza con las comunidades.

La transversalidad del tema con otros relacionados con el uso del suelo y el control de la deforestación, así como la prevención y control de incendios forestales, por ejemplo. En algunos casos resulta evidente: la permisividad de algunas autoridades 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 pudiera contribuir a proteger la ladera o su vecindad, se incrementa la susceptibilidad a la inestabilidad cuando lleguen las lluvias.

3.4.2 El reto de lograr comunidades resilientes en México

Dadas las enormes pérdidas humanas y económicas que se producen en nuestro país por desastres asociados a este fenómeno, resulta altamente conveniente trabajar primero por evitar o mitigar los desastres y, segundo, por 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 alertamiento oportuno, ejercicios de simulacro de deslizamientos y la comunicación y trabajo conjunto con las comunidades afectadas, entre otros trabajos de prevención.

Conviene reforzar la coordinación y trabajo conjunto entre instituciones y dependencias; ejemplo de ello es la reactivación del Comité Técnico de la Estrategia Nacional de Mitigación del Riesgo por Inestabilidad de Laderas (MILADERA), por parte del CENAPRED, el pasado 2 de julio (CENAPRED, 2019). Así, se amplía la participación con especialistas de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Instituto Nacional de Estadística y

Geografía (INEGI), la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Servicio Geológico Mexicano (SGM), la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), el Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (INIFED) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), entre otras instituciones.

Es altamente recomendable promover la formación especializada de profesionales en las Instituciones de Educación Superior (IES) 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 y que los retos y las oportunidades pueden alcanzarse mediante la cooperación, coordinación y un compromiso por la seguridad y el bienestar de las comunidades expuestas al peligro de 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, aprovechando talentos y experiencias en varias instituciones. La coordinación permite optimizar recursos para reducir repeticiones y traslapes en esfuerzos individuales y de grupos que, por no comunicarse, limitan la eficacia de las instituciones. El compromiso de todos coadyuva al logro de metas, con velocidad razonable, evitando protagonismos y burocracias; fomentando el desarrollo de productos y acciones que contengan el mayor valor y calidad, con mediciones objetivas y un seguimiento adecuado.

Agradecimiento

Se agradece el apoyo del Conacyt, a través de su Programa de Problemas Nacionales, para la realización del Proyecto de investigación, de cuyos resultados se deriva parte del presente trabajo.

Referencias

Alcántara I. y Echavarría A. (2001) Cartilla de diagnóstico preliminar de inestabilidad de laderas. 1ª. Edición. CENAPRED, ISBN: 970-628-597-0.

Alcántara I., Echavarría A., Gutiérrez C., Domínguez L. y Noriega I. (2013) Fascículo de Inestabilidad de laderas, CENAPRED.

Bitrán, D., (2001) "Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el período 1980-99". Tomo I de la Serie Impacto Socioeconómico de los Desastres en México, Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Prevención de Desastres, CENAPRED. 109 pp

CENAPRED (2019) <https://news.informanet.us/2019/07/reactiva-el-cenapred-el-comite-miladera.html>

Cenapred. Curso deslizamientos de laderas, junio 2019.

Chiu C. F., Yan W. M. and Yuen K. V., (2012) Reliability analysis of soil–water characteristics curve and its application to slope stability analysis, Engineering Geology, Vol. 135-136, 83–91

Cluff L. S. (1971) Peru earthquake of May 31, 1970; Engineering geology observations. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 61 June, 1971 no. 3

Coulomb CH. (1976) Essai sur une application des règles de maximis & minimis à quelques problèmes de statique, relatifs à l'architecture. C A Coulomb. Editorial: Paris De l'Imprimerie Royale.

Domínguez L., (2008), "El deslizamiento del 4 de noviembre de 2007 en la comunidad Juan de Grijalva, municipio de Ostuacán, Chiapas, y su relación con el Frente Frío No. 4", Sistema Nacional de Protección Civil, CENAPRED, México, 23 p.

Domínguez L., Castañeda A., González A. y Espinasa R., (2014), "Informe sobre la inestabilidad de laderas ocasionada por el huracán Ingrid y la tormenta tropical Manuel en Guerrero, Veracruz y Oaxaca en 2013", CENAPRED, México, 51 p.

Domínguez L., Castañeda A. y Castillo V. D., (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, Secretaría de Gobernación, Coordinación de Protección Civil. CENAPRED, México, 28 p.

Domínguez L., Castañeda A. y González A. (2016) "Análisis de umbrales de lluvia que detonan deslizamientos en México y sus posibles aplicaciones a un Sistema de Alerta Temprana por Inestabilidad de Laderas", Informe de Proyecto Anual de Trabajo (PAT) 2015, Secretaría de Gobernación, Coordinación de Protección Civil. CENAPRED, México, 28 p.

De León, D. (2018) Métrica de vulnerabilidad de taludes críticos sujetos a lluvias extremas. XXI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Campeche.

Fellenius W. (1922). "Statens Jarnjvagens Geotekniska Commission, Stockholm, Sweden

John, J. (2010) "Landslide Occurances at Maierato, Italy. An Engineering Geological View" (2010). Master of Science in Applied Geosciences Project Designs. 2.

http://repository.upenn.edu/msag_projects/2.

Servicio Meteorológico Nacional, (1999) Resumen de la Temporada de Ciclones Tropicales 1999, Subdirección General Técnica, Comisión Nacional del Agua. 6 pp

<https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Ciclones%20Tropicales/Resumenes/1999.pdf>

Mendoza, M. J. y Noriega, I., 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, SEGOB, noviembre de 1999.

Terzaghi. K. (1950). "Mechanisms of landslides", Geol. Soc. Am.. Berkeley Volume, pp. 83-123

Villegas, C., (2005) "Recuperando el paraíso perdido: El proceso de reconstrucción en la ciudad de Acapulco", del libro *La construcción social de riesgos y el huracán Paulina*, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, editado por Virginia Acosta, 256 pp

<https://books.google.com.mx/books?id=9fgz2FXFu4wC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Wesson, V. K. and Wesson, R. L., 1975. Odyssey to Tadzhik—an American family joins a Soviet seismological expedition. Washington, D.C.: U.S. Geological Survey Earthquake Information Bulletin, 7:1:8-16

Zhang J., Huang H. W., Zhang L. M., Zhu H. H. and Shi B., 2014. Probabilistic prediction of rainfall-induced slope failure using a mechanics-based model, *Engineering Geology*, Vol. 168, 16, Pp. 129–140.