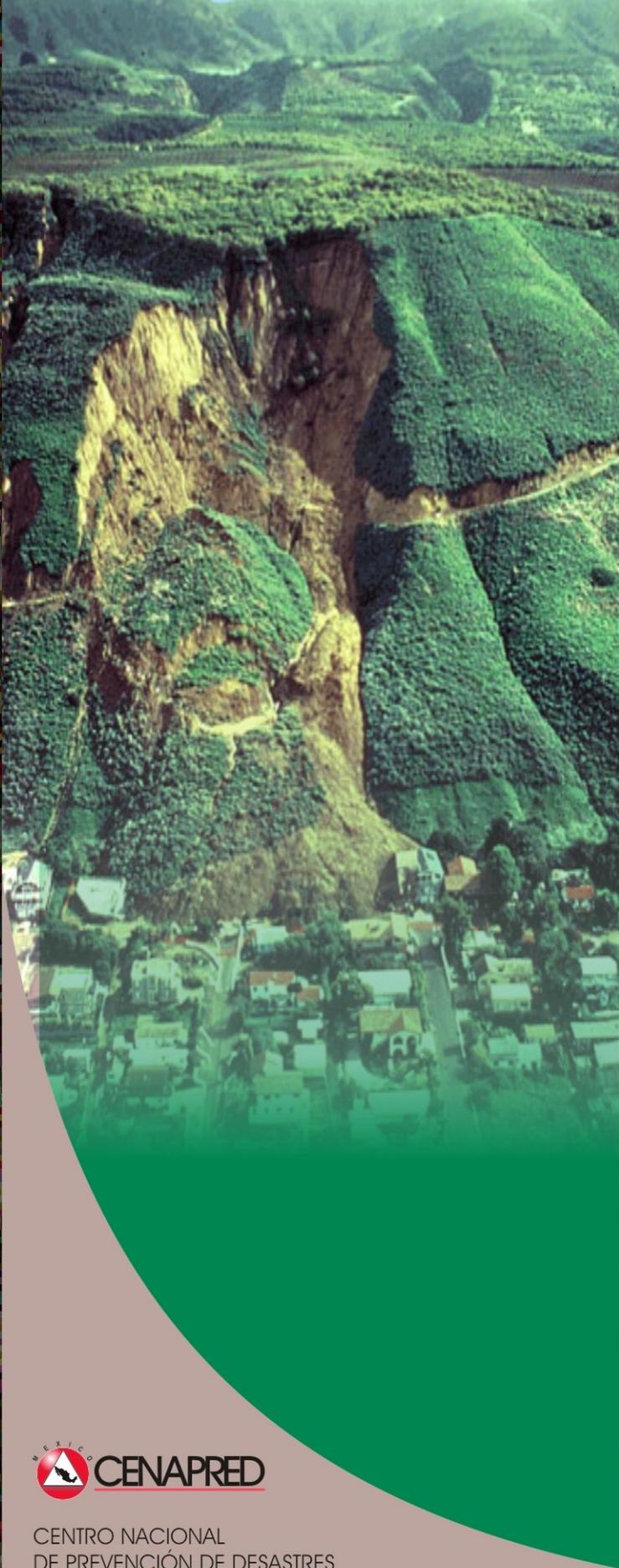


SERIE Fascículos

INESTABILIDAD DE LADERAS



CENTRO NACIONAL
DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN



1a. edición, octubre 1996
2a. edición, diciembre 2001
2a. reimpression de la 2a. edición mayo, 2008

©Secretaría de Gobernación
Abraham González No. 48,
Col. Juárez, Deleg. Cuauhtémoc,
C. P. 06699, México, D. F.

©Centro Nacional de Prevención de Desastres
Av. Delfín Madrigal No. 665,
Col. Pedregal de Santo Domingo,
Deleg. Coyoacán, C. P. 04360, México, D. F.
Teléfonos:
(55) 54 24 61 00
(55) 56 06 98 37
Fax: (55) 56 06 16 08
e-mail: editor@cenapred.unam.mx
www.cenapred.unam.mx

Grupo de Trabajo MILADERA:

©Autores:

Irasema Alcántara Ayala , Alonso Echavarría Luna,
Carlos Gutiérrez Martínez , Leobardo Domínguez Morales
e Ignacio Noriega Rioja

Revisores:

Sergio M. Alcocer, Carlos Reyes Salinas, Manuel J. Mendoza López,
Martín Jiménez Espinosa, Teresa Vázquez Conde y Sergio Saldívar

Edición: Violeta Ramos Radilla

Diseño: Demetrio Vázquez Sánchez
Cynthia Paola Estrada Cabrera

ISBN: 970-607-7558-09-5

Derechos reservados conforme a la ley.
Impreso en México. Printed in Mexico

Distribución Nacional e Internacional:
Centro Nacional de Prevención de Desastres

EL CONTENIDO DE ESTE DOCUMENTO ES
EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DE LOS AUTORES

SERIE Fascículos

SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN

Lic. Juan Camilo Mouriño Terrazo
Secretario de Gobernación

Lic. Laura Gurza Jaidar
Coordinadora General de Protección Civil

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE
DESASTRES

M. en I. Roberto Quaas Weppen
Director General

M. en C. Carlos A. Gutiérrez Martínez
Director de Investigación

M. en I. Enrique Guevara Ortiz
Director de Instrumentación y Cómputo

Lic. Gloria Luz Ortiz Espejel
Directora de Capacitación

M. en I. Tomás A. Sánchez Pérez
Director de Difusión

Profa. Carmen Pimentel Amador
Directora de Servicios Técnicos

Inestabilidad de Laderas

3	Introducción
5	Mecanismos básicos de inestabilidad de laderas <ul style="list-style-type: none">Caídos o derrumbesFlujosDeslizamientosExpansiones o desplazamientos lateralesMovimientos complejos
8	Factores que rigen la inestabilidad de laderas
10	Rasgos superficiales y síntomas característicos de inestabilidad
13	Características indicativas del estado de actividad de un movimiento <ul style="list-style-type: none">Procesos de ladera activosProcesos de ladera inactivosReactivación de procesos de ladera
15	Velocidad del movimiento en laderas inestables y su impacto potencial <ul style="list-style-type: none">Movimientos de ladera lentosMovimientos de ladera rápidosLahares
18	Influencia de la actividad humana en la inestabilidad de laderas
19	Problemas de inestabilidad de laderas: algunos ejemplos en México y el mundo <ul style="list-style-type: none">Caídos en el cerro El Tortuguero, Municipio Macuspana, TabascoDeslizamiento en el poblado de Miguel Hidalgo, Zapotitlán de Salinas, PueblaFlujo de lodo en la Colonia Aurora, Teziutlán, PueblaArcillas sensitivas en problemas de inestabilidad de laderas en NoruegaMovimiento complejo en Acapulco, Guerrero
24	Medidas preventivas ante la inestabilidad de laderas <ul style="list-style-type: none">Acciones previas a un proceso de inestabilidadAcciones durante una tormentaProcedimientos recomendables después de un movimiento de ladera
27	Medidas generales de monitoreo y alertamiento <ul style="list-style-type: none">Estimación sencilla de la lluvia que pudiera desencadenar un movimiento de laderaMonitoreos sistemáticos
29	Algunos métodos para corregir fallas en laderas y taludes inestables
30	Conclusión
31	Glosario
36	Bibliografía

Introducción

Los problemas de inestabilidad de laderas se cuentan entre los peligros naturales más destructivos de nuestro planeta, lo cual representa una de las mayores amenazas para la vida y bienes materiales de la población. Derrumbes, deslizamientos, flujos y movimientos complejos ocurren día con día alrededor del mundo. Cada año estos desastres ocasionan numerosas víctimas, heridos y damnificados, así como cuantiosas pérdidas económicas. El impacto que este tipo de peligros provoca es de mayor magnitud en países de escasos recursos debido a su alto grado de vulnerabilidad. Para prevenir futuros desastres asociados a inestabilidad de laderas, es de suma importancia que todos los miembros de la población conozcan este fenómeno y se mantengan atentos a las manifestaciones que lo preceden y los factores que lo generan.



Figura 1. Flujo de suelos y rocas en la colonia las Colinas, en El Salvador, ocasionado por un sismo de magnitud 7.6

En varios países se han tenido diferentes experiencias catastróficas en este respecto. En el Salvador, por ejemplo, en la Colonia Las Colinas un gran flujo de suelos y rocas con un volumen de aproximadamente 90,000-100,000 m³ sepultó por completo gran porcentaje de una zona habitada, ocasionando la pérdida de más de 500 vidas (Fig. 1). Dicho movimiento se produjo a consecuencia de un sismo de 7.6 grados de magnitud que ocurrió el 13 de enero de 2001.

Durante el mes de diciembre de 1999, en la franja costera de Venezuela, se registraron precipitaciones extraordinarias durante casi 20 días como resultado de la presencia de una vaguada. Días antes de la ocurrencia de estas lluvias, el huracán Lenny había afectado la costa oriental. Debido al exceso de agua infiltrada, hubo una saturación del suelo, lo que no sólo causó inundaciones devastadoras, sino también el reblandecimiento y la inestabilidad de las laderas (Fig. 2). En la región central de la costa norte del país ocurrieron grandes deslizamientos en la parte más alta de la cordillera generando avalanchas violentas, y una destrucción excepcional en la angosta franja costera. De acuerdo con la Cruz Roja Internacional, el desastre causado por las inundaciones y los movimientos de ladera, cobró la vida de 30,000 personas y afectó 81,000 viviendas. Las pérdidas materiales ascendieron a 3,211 millones de dólares y se reportó un alto nivel de deforestación.



Figuras 2. Inestabilidad de laderas e inundaciones por las lluvias de 1999 en Venezuela

En nuestro país, las lluvias torrenciales de octubre de 1999 ocasionaron cientos de deslizamientos y flujos en los estados de Puebla, Veracruz e Hidalgo. En la Sierra Norte de Puebla, las consecuencias fueron particularmente catastróficas en varias poblaciones de la región. En Teziutlán, Puebla un solo deslizamiento en la colonia La Aurora ocasionó la pérdida de 120 vidas, además de otras víctimas en colonias aledañas.



El estudio de estos peligros relacionados con la inestabilidad de laderas involucra la participación de grupos interdisciplinarios de especialistas, quienes analizan no sólo el proceso como tal, sino también los efectos socioeconómicos derivados. El primer paso para **reducir los efectos dañinos** causados por estos **fenómenos naturales** consiste en **difundir el conocimiento** y fomentar la **cultura** entre los habitantes de una nación acerca de ellos.



Muchas de las laderas se encuentran en una condición potencialmente inestable, de manera que los movimientos se pueden iniciar con facilidad. Esto es debido a diferentes factores. Por un lado, los materiales térreos formadores pueden ser poco resistentes o estar caracterizados por la presencia de sistemas de debilidad como diaclasas, fracturas, fallas, etc., lo cual implica una inestabilidad latente. O bien, las laderas pueden estar expuestas a factores externos, tales como la erosión, que juegan un papel muy importante en su desequilibrio. La presencia de lluvias excesivas y los temblores intensos son los principales mecanismos detonadores de inestabilidad en el contexto de los desastres naturales.



Figura 3. Las lluvias torrenciales de octubre de 1999 ocasionaron cientos de deslizamientos y flujos en los estados de Puebla, Veracruz e Hidalgo

Mecanismos básicos de inestabilidad de laderas

Existen diferentes términos con los cuales se hace referencia a la inestabilidad de laderas. Dichas expresiones se utilizan en las distintas disciplinas involucradas en su estudio. De tal manera que conceptos tales como procesos de remoción en masa, movimientos de ladera, procesos gravitacionales, movimientos del terreno, proceso de ladera, son empleados ampliamente para indicar que una ladera no es estable.

La inestabilidad de laderas está determinada, tanto en su origen como en su desarrollo, por diferentes mecanismos. Estos mecanismos sirven a su vez para clasificar los tipos de procesos de ladera existentes. De tal modo que se agrupan en cuatro categorías principales y una derivada de la combinación de éstas. Los mecanismos básicos de inestabilidad son los **caídos o derrumbes**, **flujos**, **deslizamientos** y las **expansiones o desplazamientos laterales**. Cuando el mecanismo inicial de un movimiento se transforma en otro(s), se dice que es un **movimiento complejo**.

Caídos o derrumbes

Los caídos o derrumbes (Figs. 3 y 4) son movimientos repentinos de suelos y fragmentos aislados de rocas que se originan en **pendientes abruptas y acantilados**, por lo que el movimiento es prácticamente de **caída libre, rodando y rebotando**.



Figura 3. Los caídos o derrumbes ocurren con frecuencia en las carreteras



Figura 4. Esquema de un caído o derrumbe

Flujos

Movimientos de suelos y / o fragmentos de rocas ladera abajo, en donde sus partículas, granos o fragmentos tienen movimientos relativos dentro de la masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla (Fig. 5).

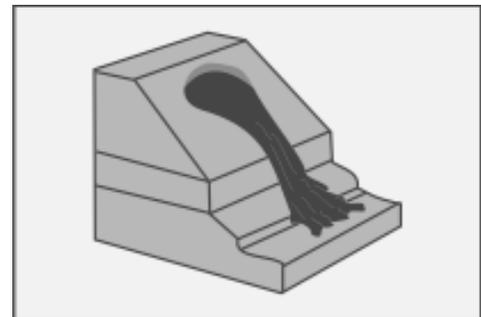


Figura 5. Esquema de deslizamiento

Los flujos pueden ser de muy lentos a muy rápidos, así como secos o húmedos. Entre los más importantes se pueden distinguir los siguientes:

Flujos de lodo

Masa de suelo y agua que fluye pendiente abajo muy rápidamente, y que contiene por lo menos 50% de granos de arena y limo, y partículas arcillosas.



Figura 6. Flujo de tierra o suelo en materiales arcillo-arenosos

Flujos o avalancha de detritos

Movimiento rápido de una mezcla en donde se combinan partículas sueltas, fragmentos de rocas, y vegetación con aire y agua entrampados, formando una masa viscosa o francamente fluida que se mueve pendiente abajo. Estos movimientos también son conocidos como flujos de escombros (Fig. 6).

Lahares

Flujo de suelos o detritos que se originan en el talud de un volcán, generalmente disparado por lluvias intensas que erosionan depósitos volcánicos, deshielo repentino por actividad volcánica, por rotura de represas o desbordamiento de agua represada y/o por la ocurrencia de sismos (Fig. 7).

Deslizamientos

Movimientos de una masa de materiales térreos pendiente abajo, delimitada por una o varias superficies, planas o cóncavas, sobre las que se desliza el material inestable (Fig. 8).



Figura 7. Lahar en el volcán Casitas, Nicaragua, ocasionado por el Huracán Mitch. Más de 2000 personas perdieron la vida en este desastre

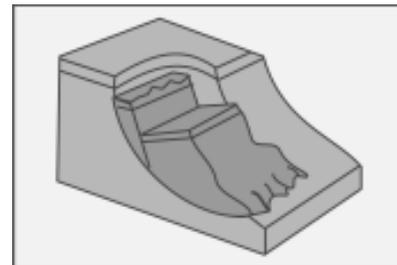


Figura 8. Esquema de un deslizamiento

Por la forma de la superficie de deslizamiento, se distinguen:

Rotacionales

Deslizamientos en los que su superficie principal de falla resulta cóncava, es decir, hacia arriba en forma de cuchara o concha, definiendo un movimiento rotacional de la masa inestable de suelos y/o fragmentos de rocas (Fig. 9). A menudo estos deslizamientos rotacionales ocurren en suelos arcillosos blandos, aunque también se presentan en formaciones de rocas blandas.



Figura 9. Deslizamiento rotacional la Conchita, en California

Traslacionales

Deslizamientos en los que la masa de suelos y/o fragmentos de rocas se desplaza hacia fuera y hacia abajo, a lo largo de una superficie principal más o menos plana, con muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo (Fig. 10). Usualmente determinan deslizamientos someros en suelos granulares, o bien, están definidos por superficies de debilidad en formaciones rocosas, tales como planos de estratificación, juntas y zonas de cambio de estado de meteorización en las rocas



Figura 10. Deslizamiento traslacional

Expansiones o desplazamientos laterales

Movimientos de masas térrreas que ocurren en pendientes muy suaves, que dan como resultado desplazamientos casi horizontales. Con frecuencia son causados por licuación, fenómeno en el que los materiales sueltos y saturados, predominantemente arenosos y limosos, adquieren el comportamiento de un fluido como consecuencia de las vibraciones causadas por un sismo.

Movimientos complejos

Los movimientos complejos son resultado de la transformación del movimiento inicial en otro tipo de movimiento al ir desplazándose ladera abajo. Las avalanchas de rocas y los flujos deslizantes son de los más comunes y pueden ocasionar cuantiosas pérdidas (Fig. 11).



Figura 11. Flujo deslizante en la Sierra Norte de Puebla ocasionado por las lluvias intensas de octubre de 1999

Factores que rigen la inestabilidad de laderas

Los procesos que ocasionan la inestabilidad de las laderas están determinados por dos tipos de factores; externos e internos. Los factores externos ocasionan un incremento en los esfuerzos o acciones que se dan en una ladera, es decir, producen una mayor concentración de las fuerzas motoras o actuantes, mientras que los factores internos reducen la resistencia de los materiales, en otras palabras, disminuyen la concentración de fuerzas resistentes (Fig. 12).

fuerzas resistentes sean mayores que las fuerzas motoras o actuantes.

Las fuerzas motoras se originan por el peso propio del material térreo que conforma el cuerpo de una ladera y por el peso de cualquier construcción que se coloque en la parte alta de la misma, como por ejemplo: casas, terraplenes usados para construir carreteras, etc. Las fuerzas resistentes son resultado de la fortaleza o resistencia característica de los materiales térreos que conforman las laderas.

En la figura 14 se aprecia la relación que existe entre las fuerzas que pueden originar que una ladera se vuelva inestable, “fuerzas motoras o actuantes”, y las fuerzas que se ejercen en el interior de la misma ladera, “fuerzas resistentes”, que la mantienen en equilibrio. La ladera se encontrará en condiciones estables mientras las

Existen varios factores de tipo externo. Entre los principales cabe destacar los procesos que se relacionan con las modificaciones de la geometría de una ladera (por erosión, socavación, incisión de un río, excavaciones artificiales, etc.), las cargas y descargas, el efecto de los sismos o vibraciones por explosiones y maquinaria pesada, así como los cambios en el régimen hidrológico como consecuencia de la variabilidad de la intensidad y duración de las precipitaciones (Fig. 13). Cuando la ladera se ve afectada

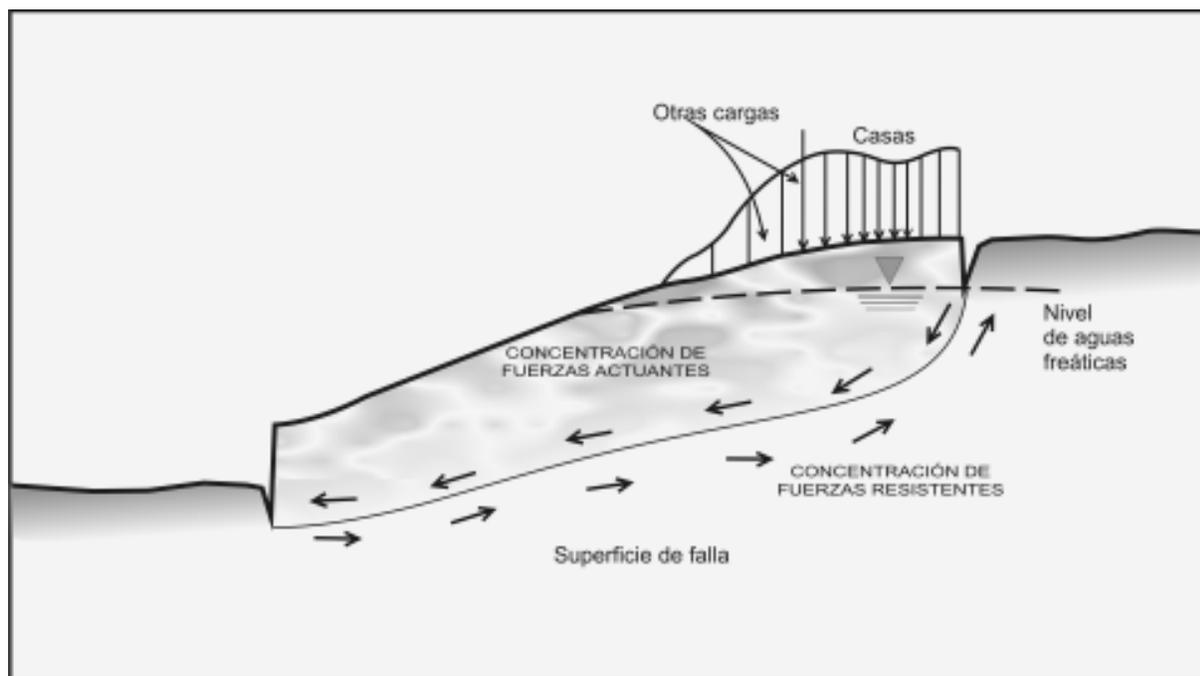


Figura 12. Esquema de factores de inestabilidad



Figura 13. Precipitaciones intensas o extremas pueden desencadenar distintos tipos de procesos de ladera

tada por estos procesos, es más fácil que las fuerzas motoras influyan en la estabilidad de la ladera. Por otro lado, los factores internos están relacionados con las características de los materiales térreos en cuanto a composición, textura, grado de intemperismo, características físico-químicas, etc., y las modificaciones que éstos van sufriendo.

Algunos de estos factores pueden ser propiciados por el ser humano, ya que éste ha transformado el equilibrio natural del entorno, de tal modo que la actividad humana es uno de los elementos más importantes en la modificación de la estabilidad de las laderas. Por ejemplo, la actividad minera mal planeada y la excavación en zonas no adecuadas para construcción, modifica sustancialmente la geometría de las laderas ocasionando inestabilidad. Por otro lado, los procesos de deforestación (Fig. 14) modifican la estructura e hidrología del suelo. Un ambiente altamente modificado por el hombre es en gran medida susceptible a la ocurrencia de procesos de remoción.



Figura 14. Las áreas deforestadas son zonas altamente susceptibles a la inestabilidad

Rasgos superficiales y síntomas característicos de inestabilidad

Los mecanismos de los distintos movimientos de ladera se reflejan a través de sus características morfológicas, es decir, mediante la disposición de las formas que se originan y permanecen en la superficie del terreno durante y después del movimiento. Los rasgos principales (Fig. 15) son la corona o zona superior, donde el material no ha sido desplazado; el escarpe que es la superficie abrupta localizada en la parte superior que resulta del movimiento; la superficie de falla o deslizamiento, que es la zona que delimita la masa en movimiento; y la zona de acumulación o depósito del material desplazado.

El esquema antes mencionado corresponde a un movimiento idealizado. La naturaleza es mucho más complicada y no siempre será posible la identificación de todos estos elementos. De hecho los movimientos de ladera tienden a ser complejos. Su mismo desarrollo, en ocasiones, inhibe la formación y por ende la identificación de sus rasgos morfológicos.

Los deslizamientos de laderas naturales pueden causar daños que se manifiestan de varias maneras. Este hecho permite establecer algunas estrategias para percibir a simple vista cuándo se está iniciando o se encuentra en proceso franco de desarrollo algún movimiento de terreno. Por esta razón, es importante estar alerta y advertir las modificaciones que ocurren a nuestro alrededor. De esta manera es posible protegernos desde el primer momento en que se presente este tipo de peligros naturales.

Cuando las laderas se encuentran pobladas por el hombre, es frecuente que

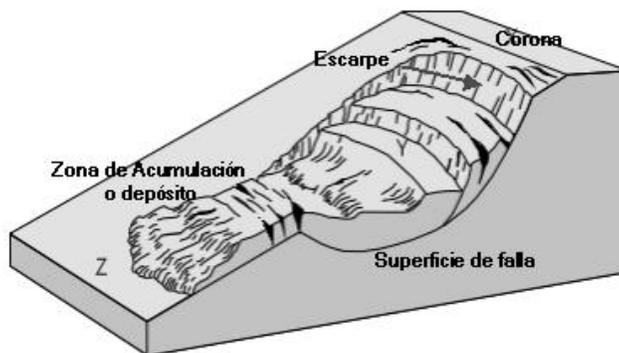


Figura 15. Esquema de un deslizamiento

los daños a casas habitación proporcionen una percepción nítida de la magnitud de los movimientos del terreno y de las áreas donde el problema es crítico. Son evidentes los desplazamientos del terreno, el patrón de grietas y el rompimiento generalizado de los muros y pisos de las casas habitación (Fig. 16).



Figura 16. El rompimiento de muros y pisos es un indicio de inestabilidad

Estas observaciones son útiles para delimitar las zonas en movimiento, diagnosticar los mecanismos involucrados y el nivel de peligro. Estas observaciones son útiles para delimitar las zonas en movimiento, diagnosticar los mecanismos involucrados y el nivel de peligro. De este modo, es posible definir la urgencia de evacuación. Cuando una estructura ha sido afectada por la inestabilidad no existe técnica constructiva que la pueda rescatar.

La presencia de una mayor infiltración, de suelos saturados y el desarrollo de manantiales en zonas que generalmente no son húmedas es indicativo de que puede haber un exceso de humedad, lo cual puede ocasionar inestabilidad en una ladera (Fig. 17).



Figura 17. Las concentraciones de humedad en sitios que comúnmente no están saturados indican zonas de posibles movimientos. Durante lluvias intensas se origina una recarga que influye en la inestabilidad.

El desarrollo de nuevas fisuras o grietas o bien de abultamientos o deformaciones en las distintas superficies naturales y artificiales del terreno, tales como el asfalto, pavimento, adoquinado, empedrado, banquetas, etc. indica la posibilidad de que esa superficie esté perdiendo su estabilidad (Fig. 18).



Figura 18. Abultamientos en las superficies naturales y artificiales son indicativos de inestabilidad.

En las laderas naturales estables, los árboles, cercas, muros y postes están en posición vertical. Por el contrario, cuando a simple vista se observa algún grado de inclinación de árboles y postes, es posible suponer inestabilidad en la ladera (Fig. 19). En el caso concreto de los árboles, su edad y

grado de inclinación pueden aportar una idea clara de la antigüedad del problema, además de la magnitud del mismo.



Figura 19. Los árboles inclinados expresan la inestabilidad de los materiales en los que han crecido.

Otro indicio muy importante es la formación de escarpes o escalonamientos (Fig. 20). Cuando son incipientes, es decir apenas perceptibles, indican que la ladera está en una fase inicial de inestabilidad; cuando ya están más desarrollados, forman parte de los escarpes principales de la masa térrica en movimiento.



Figura 20. La formación de escarpes o escalonamientos son un claro síntoma de la inestabilidad de las laderas.

Estos factores permiten determinar con bastante precisión el área afectada y facilitan el cálculo del volumen de material inestable. Además, con esta información y la clasificación geotécnica del material que forma la ladera inestable es factible evaluar la magnitud del riesgo y estimar el tiempo en el que el problema se puede tornar definitivamente crítico.



Figura 21. La presencia de grietas semicirculares, el hundimiento de algunas partes de la carretera y los postes desalineados, son los principales síntomas de inestabilidad que se pueden observar en esta región

En el caso de algunas catástrofes de esta índole, el material térreo producto de las fallas de talud ha llegado a sepultar poblaciones enteras. En algunas ocasiones, cuando el material derrumbado obstruye el flujo del agua de los escurrimientos naturales (ríos), el agua se represa hasta alcanzar un volumen suficientemente grande para generar un flujo de lodo, a manera de avalancha.

La inestabilidad de una ladera se refleja también a través del movimiento de grandes masas en las cuales pueden existir construcciones tales como escuelas, casas, etc.(Fig. 22).



Figura 22. Rompimiento y movimiento en bloques de un deslizamiento con mecanismo traslacional

Tabla 1. Indicios de Inestabilidad de Laderas

- Manantiales, filtraciones o suelos saturados en áreas que generalmente no están húmedas
- Desarrollo de grietas o abultamientos en el terreno, ya sea natural o artificial
- El movimiento de suelos que deja al descubierto las cimentaciones de estructuras
- Estructuras secundarias o añadidas (terrazas, marquezinas, etc.) que se han movido y/o inclinado con relación a la estructura principal
- Inclinación y/o agrietamiento de pisos y cimentaciones de concreto
- La ruptura de tubos de agua y otras estructuras subterráneas
- Inclinación de postes telefónicos y/o eléctricos, árboles, muros de contención o cercas
- Cercas o postes desalineados
- Carreteras que se hundan súbitamente
- Cuando el nivel del agua de un arroyo se incrementa rápidamente, posiblemente acompañado por incrementos en la turbidez del agua
- Cuando los niveles del agua en los arroyos descienden súbitamente, a pesar de que está lloviendo o ha llovido recientemente
- Puertas y ventanas que no cierran con facilidad y espacios visibles entre los marcos de las mismas

Características indicativas del estado de actividad de un movimiento

La dinámica de los procesos de ladera se ve reflejada en su grado de estabilidad o inestabilidad, de tal forma que las laderas presentarán distintas características dependiendo no sólo de las condiciones actuales, sino de los procesos que han actuado en ellas a través del tiempo.



Figura 23. Poblado evacuado en Miguel Hidalgo, Zapotitlán de Salinas, Puebla

Procesos de ladera activos

Los procesos de ladera activos se manifiestan en la superficie del terreno natural mediante escalones, grietas y discontinuidad en la vegetación de las áreas afectadas, tal como se puede apreciar en las figuras 23 y 24. Esta actividad está determinada por la velocidad del movimiento presente y puede afectar de manera variable a las comunidades que se encuentran en esa zona.



Figura 24. Destrucción total de la parte central del poblado de Miguel Hidalgo, Zapotitlán de Salinas, Puebla

Procesos de ladera inactivos

La inestabilidad de las laderas no es permanente. Los movimientos del terreno pueden evolucionar hasta un punto en el que se restablecen las condiciones naturales de equilibrio. El intervalo de tiempo entre la inestabilidad y la estabilidad varía dependiendo de los materiales involucrados y de los factores condicionantes de la misma. En algunos casos es posible detectar los movimientos que han ocurrido en la superficie del terreno natural, si los rasgos morfológicos de la ladera no han sido erosionados. Sin embargo, en ocasiones es muy difícil detectar zonas que han sido inestables con anterioridad. Cuando ha existido un movimiento de ladera en un lugar determinado, siempre existirá la posibilidad de que éste se reactive (Fig. 25).



Figura 25. Antiguo deslizamiento traslacional en materiales calcáreos

Reactivación de procesos de ladera

Una ladera inactiva no puede ser descartada como una zona potencialmente peligrosa. Lo anterior, debido a que siempre existirá la posibilidad de que tanto los factores internos como externos que generaron originalmente el problema de inestabilidad, vuelvan a presentarse (Fig. 26).

De hecho, gran cantidad de los movimientos de ladera que ocurren día con día, son resultado de la reactivación de antiguas zonas inestables. Como parte natural de la dinámica de la superficie terrestre, las laderas tienden a caerse y a formar grandes depósitos. A medida que pasa el tiempo, éstos últimos se van consolidando y aparentan ser nueva-



Figura 26. Reactivación de un deslizamiento rotacional en filitas y esquistos

mente una superficie estable. Muy frecuentemente, comunidades enteras se asientan en este tipo de depósitos, y debido a algún factor sobre todo externo, se da la reactivación de los movimientos, la cual en muchos casos, una vez involucrados los asentamientos humanos, puede tener consecuencias desastrosas.

Esta situación peligrosa se podría presentar en el momento en que ocurriera una lluvia intensa y prolongada o bien porque, ignorando la peligrosidad del área, se alteren las condiciones de equilibrio aparente mediante la construcción de casas o instalación de alguna obra de infraestructura en sitios no aptos.

Velocidad del movimiento en laderas inestables y su impacto potencial

La velocidad con que se mueven las laderas varía mucho dependiendo del tipo de movimiento (caído, deslizamiento o flujo), de la inclinación del terreno y de la cantidad de agua. Los caídos y los flujos pueden alcanzar grandes velocidades. Sin embargo, los flujos son más importantes ya que generalmente involucran una gran cantidad de material el cual cubre áreas extensas. Los flujos están formados por grandes volúmenes de agua, así como también de distintos materiales térreos. Mientras más agua tienen, mayor es su velocidad. De la misma manera, mientras más inclinada es la ladera, mayor será la movilidad de los ma-

teriales inestables. Es necesario conocer la velocidad de los movimientos porque esto nos permite saber cuál es el posible impacto en las zonas habitadas o donde exista alguna obra de infraestructura. Para identificar el grado de peligro de un problema de inestabilidad de laderas, debemos partir del hecho que mientras mayor sea la velocidad del movimiento, mayor será su potencial destructivo (Tabla 2).

Tabla 2. Escala de velocidades de los movimientos de ladera (WP/WLI, 1995)

Velocidad	Descripción de la velocidad	Naturaleza del impacto
3 m/s – 5 m/s	7. Extremadamente rápido	Catástrofe de gran violencia
0.3 m/min – 3 m/min	6. Muy rápido	Pérdida de algunas vidas, gran destrucción
1.5 m /día – 13 m /mes	5. Rápido	Posible escape y evacuación, estructuras, posesiones y equipos destruidos
1.5 m /año – 1.6 m /año	4. Moderado	Estructuras poco sensibles pueden sobrevivir
1.5 m /año – 1.6 m /año	3. Lento	Carreteras y estructuras poco sensibles pueden sobrevivir a través de trabajo de mantenimiento constante
0.06 m /año – 0.016 m /año	2. Muy lento	Algunas estructuras permanentes no son dañadas y sufren agrietamientos por el movimiento, pueden ser reparadas
	1. Extremadamente lento	No hay daño a las estructuras construidas con criterios de ingeniería formales

Movimientos de ladera lentos

Entre las zonas que por lo general son susceptibles a este tipo de movimientos se encuentran las siguientes:

- ❖ En antiguos movimientos con posibilidad de reactivación
- ❖ A lo largo o en la base de taludes
- ❖ A lo largo o en la base de cuencas de drenaje menores u otras depresiones
- ❖ En el tope o en la base de antiguos taludes de relleno
- ❖ En el tope o en la base de cortes en taludes empinados
- ❖ En laderas desarrolladas donde se usen pozos sépticos u otras estructuras de donde las aguas usadas se pueden filtrar

Los movimientos lentos pueden incluir mecanismos de deslizamiento y flujo, dependiendo de la inclinación del terreno, el tipo de material involucrado y su consistencia en función del contenido de agua.

Movimientos de ladera rápidos

Los flujos pueden alcanzar velocidades considerables, éstos se originan en taludes con pendientes inclinadas. Una vez que un flujo inicia, es capaz de moverse por áreas relativamente planas o de poca inclinación. Las áreas más peligrosas son aquellas localizadas en el fondo de un cañón y en taludes que han sido excavados para construir carreteras y edificios.

Los flujos generalmente ocurren durante lluvias intensas en suelos con un grado de humedad antecedente, es decir, con cierta saturación. Generalmente inician como pequeños deslizamientos de suelo que se licuan y aceleran a altas velocidades que pueden inclusive llegar a alcanzar 60 km por hora. Cuando múltiples flujos se originan en las partes altas, se van desplazando a lo largo de los barrancos, lo que incrementa considerablemente su volumen. Su gran movilidad origina que éstos se desplacen a grandes distancias de su punto original (Fig. 27).

Típicamente los flujos se originan en depresiones en las partes altas de un talud. Esto hace que las áreas localizadas cuesta abajo de depresiones en un talud sean particularmente peligrosas.

Los cortes de carreteras y todas las áreas de un talud que han sido excavadas o alteradas son particularmente peligrosas, ya que es común que se originen flujos o deslizamientos durante las lluvias intensas. Usualmente la intensidad de las lluvias necesarias para que se formen flujos en estas áreas es menor que la que se necesita en taludes naturales.

Otras áreas donde comúnmente se producen flujos y deslizamientos son aquellas donde las corrientes de agua son canalizadas, como a lo largo de las carreteras o debajo de las cunetas.



Figura 27. Flujo de escombros en la Sierra Norte de Puebla

Lahares

Los lahares son flujos de lodo, compuestos principalmente por material volcánico (Fig. 28). Estos flujos de lodo, roca y agua se pueden mover a través de los valles y ríos a velocidades variables hasta de 100 kilómetros por hora y se pueden extender a más de 80 kilómetros de distancia. Algunos lahares contienen tantos fragmentos de materiales (de 60% a 90% por peso) que parecen ríos de concreto fresco.



Figura 28. La erupción del volcán Nevado del Ruiz en Colombia, en 1985, provocó el derretimiento de una pequeña parte del glaciar, ocasionando un lahar

Estos flujos son tan poderosos que en las áreas cercanas a donde se originan, que son capaces de arrancar y cargar árboles, casas y peñascos enormes, a lo largo de kilómetros de distancia río abajo. En áreas río abajo éstos terminan sepultando en lodo cualquier cosa que se encuentren en su camino. Históricamente, de todos los peligros relacionados con volcanes, los más letales han sido los lahares. Estos pueden ocurrir durante una erupción. El agua que crea los lahares puede provenir de hielo o nieve (en especial agua proveniente de glaciares derretidos por flujos piroclásticos), lluvias intensas o desborde de algún lago localizado en el cráter de la cima de un volcán. Los lahares de gran tamaño son un peligro potencial para cualquier comunidad que se encuentre ubicada en las zonas aledañas a volcanes cuya cima esté cubierta de nieve o tenga un glaciar (Figs. 29 y 30).



Figura 29. Vista del lahar originado en el volcán Nevado del Ruiz en Colombia, en 1985, que sepultó a la población de Armero donde perecieron 22,000 personas

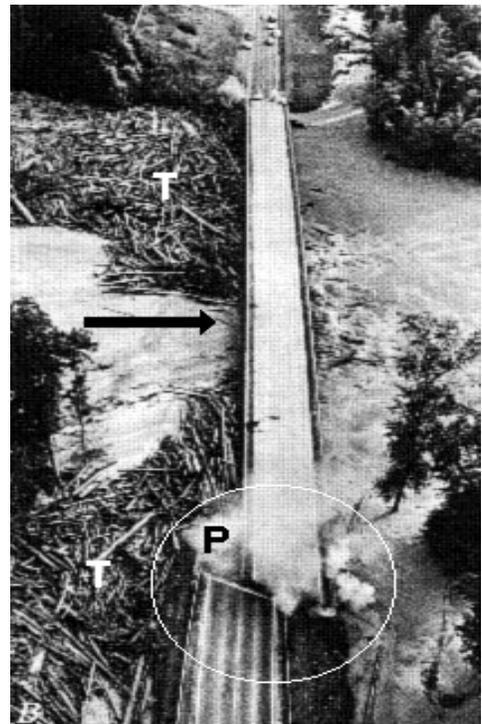


Figura 30. La imagen muestra cómo un lahar (la flecha indica la dirección del flujo) desplaza uno de los extremos (P) del puente de concreto armado «Coal Bank», de 160 m de extensión. Las nubes de polvo (Círculo) a ambos lados del extremo inferior son consecuencia de la rotura y desplazamiento del pesado puente. Los sólidos incorporados (T) por el lahar aumentan notablemente la fuerza de impacto del flujo, pudiendo superar los 2.500 Kg/m²

© R. Werth, The Daily News, Longview, Wash.

Influencia de la actividad humana en la inestabilidad de laderas

Entre las actividades humanas que pueden desencadenar problemas de inestabilidad de laderas se pueden contar:

- ❖ Actividades de construcción que involucran cambios en la pendiente natural del terreno y que alteran el régimen natural de escurrimiento del agua superficial y subterránea
- ❖ Cambios en la pendiente natural del terreno, resultantes de la construcción de terrazas para uso agrícola
- ❖ Deforestación
- ❖ Actividad minera (Fig. 31)



Figura 31. Inestabilidad de laderas ocasionada por actividades mineras a cielo abierto en sitios no aptos



Figura 32. Cambios en la pendiente natural del terreno, para uso agrícola

Si estas actividades e instalaciones no se diseñan y construyen apropiadamente, pueden incrementar el ángulo de inclinación original de las laderas, reducir el apoyo lateral o al pie de las mismas, o sobrecargar la parte alta de un talud potencialmente inestable.

Cambios en las actividades de riego para agricultura, o variaciones en los volúmenes de escurrimientos, producto de lluvias extraordinarias pueden causar cambios en las condiciones naturales de drenaje del terreno, incrementando la erosión, elevando el nivel original del agua subterránea (Fig 32). También, la presencia de una población instalada en forma irregular sobre una ladera puede alterar las condiciones de escurrimiento e infiltración de agua, al no contar con obras de abastecimiento de agua potable y drenaje apropiadas (Fig. 33).



Figura 33. Los asentamientos humanos irregulares alteran las condiciones de estabilidad de una ladera natural al generar cortes, conformar terrazas y devastar la vegetación

Problemas de inestabilidad de laderas: algunos ejemplos en México y el mundo

Caídos en el cerro El Tortuguero, Municipio Macuspana, Tabasco

En la madrugada del día tres de junio del año 2000, se presentó un derrumbe súbito de roca en la cantera del cerro El Tortuguero, ubicado en el Municipio de Macuspana Tabasco (Fig. 34). Aunque la porción de la ladera colapsada fue relativamente reducida, este accidente afectó una superficie de siete hectáreas, donde se localiza el patio de maniobras de una empresa que se dedica a la explotación de roca caliza, para usarla en la fabricación de pavimentos.



Figura 34. Caído de las capas superficiales, inclinadas en el mismo sentido de la ladera natural del cerro el Tortuguero, en el Municipio de Macuspana, Tabasco

En este accidente resultaron dañados tanto los edificios de oficinas de la empresa, como los equipos de trituración y la maquinaria pesada en general. Además de dos viviendas que se encontraban en las proximidades de los

límites del predio de la empresa. Afortunadamente en el momento del movimiento de ladera, no se encontraban laborando los empleados, pero desafortunadamente, los siete habitantes de las viviendas afectadas perdieron la vida.

El cerro El Tortuguero está formado por capas de roca caliza inclinadas en el mismo sentido de la pendiente natural del mismo. Este hecho requería una explotación de la roca por medio de plataformas escalonadas, también conocidas como terrazas, excavadas desde la parte más alta del cerro hacia abajo de la ladera. El hecho de que la extracción de roca se iniciara en la parte inferior del cuerpo del cerro, dejó sin apoyo a las capas de la parte superior, causando la inestabilidad de la ladera natural. Adicionalmente, las intensas lluvias de los días anteriores al accidente, causaron el reblandecimiento de las capas delgadas de arcilla presentes entre las capas de roca, facilitando con ello el desprendimiento de grandes volúmenes de material. Este accidente representa un ejemplo claro de inestabilidad de laderas naturales provocada por la acción del hombre. Aquí resalta la falta de información y conocimiento suficiente del personal responsable de los trabajos de exploración de un banco de roca, mismos que dentro de las actividades formales de la ingeniería son consideradas como de alta responsabilidad, por el alto nivel de peligro que existe al modificar las condiciones naturales de estabilidad de una formación geológica.

Deslizamiento en el poblado de Miguel Hidalgo, Zapotitlán de Salinas, Puebla

El poblado de Miguel Hidalgo, Zapotitlán de Salinas, en Puebla, se encontraba localizado en los depósitos de un antiguo deslizamiento. Como consecuencia de un sismo de magnitud 7.0, con epicentro al suroeste de la ciudad de Tehuacán, Puebla en junio de 1999, y de las lluvias extraordinarias de octubre de 1999, una masa con una extensión de aproximadamente 1 km² empezó a desestabilizarse. Una grieta de 450 m apareció el 25 de octubre y 24 horas más tarde el ancho de la misma había crecido 4 cm. Tres días después, el ancho de ésta alcanzó 32 cm y una profundidad de 6 metros. De esta manera se originó un deslizamiento que en una etapa inicial tenía un escarpe de 30 cm y posteriormente alcanzó 100 m (Fig. 35).

El movimiento se inició como un deslizamiento rotacional y posteriormente se produjo un componente traslacional (Fig. 36). La velocidad de desplazamiento fue en promedio de 5 cm por día durante el primer mes, misma que disminuyó gradualmente en los siguientes tres meses que duró el movimiento.

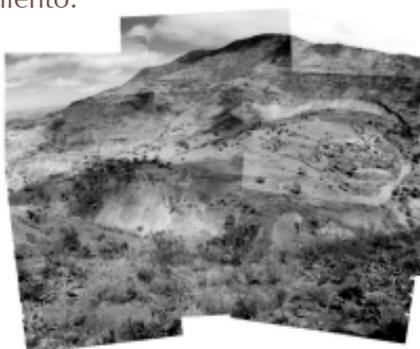


Figura 35. Vista panorámica del deslizamiento de Miguel Hidalgo, Zapotitlán de Salinas, Puebla

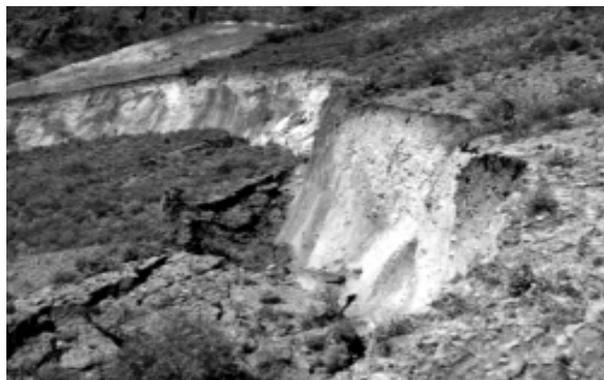


Figura 36. Vista de la corona antes y después del movimiento

El área involucrada fue totalmente destruida, pero afortunadamente no hubo víctimas que lamentar, ya que la Dirección de Protección Civil del Estado evacuó a los habitantes de manera oportuna (Fig. 37).



Figura 37. Parcial destrucción del poblado debido al deslizamiento

Flujo de lodo en la Colonia Aurora, Teziutlán, Puebla

Características generales de Teziutlán

Las lluvias de octubre de 1999 ocasionaron varios cientos de movimientos de ladera en la Sierra Norte de Puebla. De manera particular, la ciudad de Teziutlán fue noblemente afectada ya que más de cien personas perdieron la vida, muchas quedaron sin hogar y se registraron cuantiosos daños económicos. Teziutlán se encuentra localizado en un área de lomeríos con pendientes variables.

La geología del área comprende distintos flujos piroclásticos provenientes de la caldera de los Humeros, de edad cuaternaria que pertenecen a la Faja Volcánica Transmexicana. Estos materiales, son principalmente tobas y brechas con cementación intermedia. Son rocas blandas de grano fino a medio, aunque también se encuentran estratos con una cantidad considerable de fragmentos rocosos y gravas, empacadas en una matriz fina (Mendoza

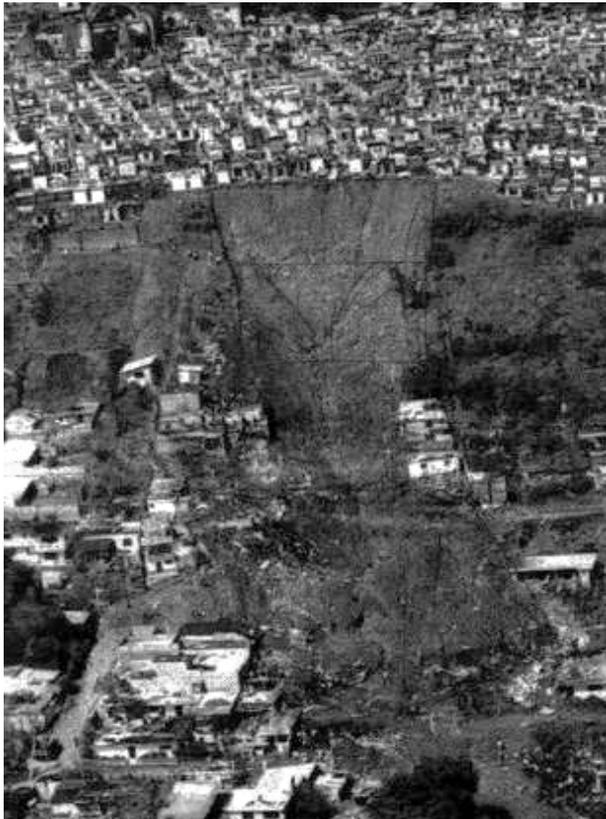


Figura 38. Flujo de lodo en la Colonia Aurora, Teziutlán, Puebla

et al., 2000). Las propiedades mecánicas de los suelos derivados de estos materiales tienen la peculiaridad de tener una alta sensibilidad al secado y variaciones sensibles en su resistencia (Marsal y Mendoza, 1985), lo cual explica la inestabilidad de las laderas que presentaron durante este período de lluvias extremo.

El flujo de lodo en la Colonia Aurora

El 5 de octubre de 1999 en la ladera posterior del cementerio municipal, ubicado en la Colonia La Aurora ocurrió un movimiento de ladera que tuvo consecuencias catastróficas. De acuerdo con observaciones de campo hechas inmediatamente después del evento, la masa fallada tuvo un movimiento con componente rotacional en la parte cercana a la corona, y un componente traslacional a lo largo del cuerpo principal (Mendoza *et al.*, 2000), lo cual explica sin lugar a dudas que el movimiento inicial tuvo un mecanismo de deslizamiento y posteriormente se convirtió en flujo (Fig. 38).

Los muestreos realizados para conocer las propiedades índices de los materiales fallados mostraron que el suelo de esta ladera tenía un contenido natural de agua ligeramente superior al límite líquido, es decir, con una resistencia muy baja. El movimiento de la colonia La Aurora, así como otros procesos de ladera que ocurrieron en Teziutlán y en otras comunidades de la Sierra Norte de Puebla fueron resultado de la saturación del suelo provocado por las lluvias extraordinarias. Con base en análisis de campo y de laboratorio, Mendoza *et al.*, 2000, sugieren que al saturarse la ladera disminuyó la cohesión, lo cual para cierta presión en el agua podría causar la inestabilidad.

Arcillas sensitivas en problemas de inestabilidad de laderas en Noruega

Es posible encontrar laderas naturales constituidas por arcillas conocidas como sensitivas. En estos casos, existe el peligro de que ocurra una expansión o desplazamiento lateral, ya que estos movimientos se pueden presentar en forma súbita e inesperada (Fig. 39).

Estas arcillas se caracterizan por haberse formado en un ambiente marino, donde originalmente el agua salada de mar impregnaba los poros del material térreo. Con el paso del tiempo, el agua marina es substituida por agua dulce, como parte de un proceso natural, por lo que se genera un problema de inestabilidad en la estructura interna de la arcilla.

Dicho problema de inestabilidad se manifiesta mediante la posible pérdida de resistencia de la arcilla, lo cual se puede originar debido a cualquier alteración externa en la ladera, tal como una excavación, la presencia de lluvias extraordinarias o la acción de las fuer-



Figura 39. Las arcillas sensitivas pierden fácilmente su resistencia por alteraciones externas transformándose prácticamente en un líquido

zas sísmicas. En realidad, el término sensitivo se refiere a la facilidad con que estas arcillas pueden perder su resistencia. Esto puede incluir la capacidad natural para autosustentarse en el cuerpo de un talud natural.

Existen arcillas extremadamente sensitivas (*quick clays*) que están relacionadas con ambientes glacio-marinos, ya que fueron depositadas en cuerpos de agua adyacentes a las márgenes glaciales. Esta es la razón por la cual su distribución está restringida a Escandinavia, Canadá, Groenlandia y Nueva Zelanda.

Existen arcillas extremadamente sensitivas (*quick clays*) que están relacionadas con ambientes glacio-marinos, ya que fueron depositadas en cuerpos de agua adyacentes a las márgenes glaciales. Esta es la razón por la cual su distribución está restringida a Escandinavia, Canadá, Groenlandia y Nueva Zelanda.

En 1893, en Verdalen, una localidad Noruega, ocurrió un desplazamiento lateral que involucró el movimiento de cincuenta y cinco millones de metros cúbicos de arcillas (Fig. 40). Nueve kilómetros de tierras fueron sepultados completamente y 116 personas murieron. En la actualidad este sitio tiene muchos problemas de inestabilidad, zonas con arcillas sensibles causan grandes pérdidas en áreas costeras.



Figura 40. Arcillas extremadamente sensitivas (*quick clays*) de la región de Verdalen en Noruega

Movimiento complejo en Acapulco, Guerrero

Durante la madrugada del día 9 de octubre de 1997, el huracán *Pauline* causó en Acapulco la peor tragedia registrada en su historia. La lluvia alcanzó 400 mm en tan solo cinco horas. Esto ocasionó que el desastre se iniciara con la saturación de los materiales térreos de la parte alta de los cerros, donde la inclinación natural del terreno es más pronunciada y que afortunadamente se encuentra deshabitada. En esos sitios se presentaron derrumbes locales de las laderas, iniciando un movimiento complejo consistente en caídos deslizamientos y flujos (Fig. 41).

Debido a la pendiente pronunciada de esta parte alta de la ciudad, el material producto de dichos colapsos se desplazó pendiente abajo, con gran velocidad, a manera de avalancha. En el primer sitio en donde la pendiente se vuelve más suave, justo antes de entrar a la zona poblada, la avalancha se detuvo (Fig. 42). De esta forma, gran parte del material de la avalancha se acumuló, quedando al frente los fragmentos de roca de mayor tamaño y los de menor tamaño represados por los anteriores. Esta forma de depósito de los materiales pétreos es una de las características que permiten identificar en campo a una avalancha.

En este sitio, el caudal y su carga de material sólido, consistente en fragmentos de roca de diversos tamaños, sedimentos y agua alcanzó una gran altura. Muestra de ello son los fragmentos de roca que a su paso quedaron atrapados entre las ramas de los árboles, tal como se aprecia en la siguiente fotografía.



Figura 41. Generación de caídos o derrumbes locales en la parte alta de Acapulco debido al huracán *Pauline*



Figura 42. Esta avalancha se detuvo justo en el cambio dependiente de la ladera

A pesar de la gran cantidad de rocas acumuladas en este sitio, el resto de la masa térrea (fragmentos de roca y sedimentos) junto con la gran cantidad de agua de lluvia, continuó su movimiento pendiente abajo con un gran potencial erosivo que arrastró sedimentos y rocas del lecho de los cauces de los ríos, devastando todo lo que había a su paso (Fig. 43).



Figura 43. Los flujos de lodo y escombros tuvieron un alto potencial destructivo

Estos flujos incrementaron notablemente el área hidráulica de dichos cauces, mediante su acción erosiva, medida desde el punto de vista de la masa de material térreo y agua. Además de la gran velocidad con la que se desplazó el flujo, desde la parte alta de la ciudad, prácticamente hasta descargar su caudal en la bahía.

Medidas preventivas ante la inestabilidad de laderas

Con la finalidad de reducir el peligro por inestabilidad de laderas se recomienda:

1. No cortar los árboles ni destruir la vegetación natural de la región.
2. No excavar las laderas de los cerros en forma de cortes y terrazas sin autorización.
3. Si usted vive en un lugar en donde la superficie del terreno natural se encuentra inclinada, es importante que no permita que el agua de los drenajes domésticos se infiltre en el terreno.
4. En caso de que detecte alguna fuga de agua, deberá dar aviso inmediato a las autoridades de protección civil, para que ellas se encarguen de agilizar los trabajos de reparación, con el fin de que no se reblandezca el terreno.
5. Es muy importante que esté usted atento a las indicaciones de las autoridades de protección civil de su comunidad, sobre todo durante la temporada de lluvias.
6. Si su casa se encuentra ubicada en la ladera de un cerro, usted deberá revisar constantemente las paredes, pisos y techos en busca de grietas o hundimientos.
7. Si usted vive al pie o sobre una ladera en una región que pueda ser afectada por sismos intensos, considere la posibilidad de que la ladera se vuelva inestable.

La única acción que permite reducir los efectos por inestabilidad de laderas es la detección oportuna y la toma inmediata de decisiones por parte de las autoridades, especialistas y público en general, a fin de poner en práctica los planes de evacuación y salvamento previamente diseñados para cada localidad.



Figura 44. Si vive sobre una ladera revise periódicamente su casa, así como la ladera
<http://dc-anzoategui.org/WEB12.HTML>

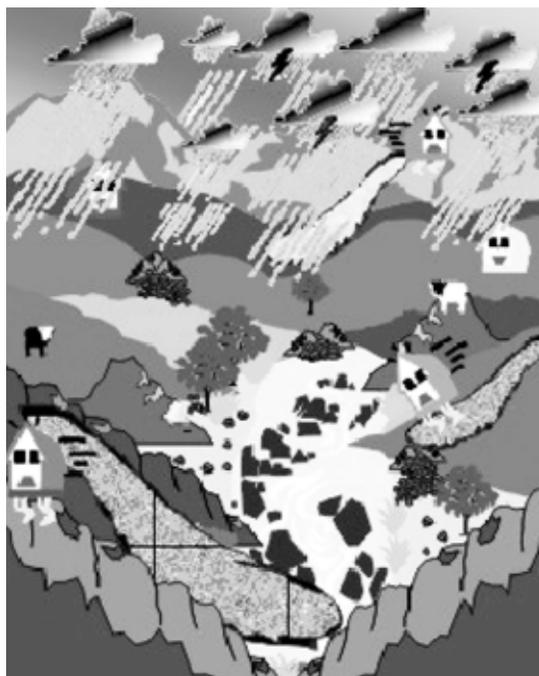


Figura 45. Dibujo alusivo a la inestabilidad de laderas

Acciones previas a un proceso de inestabilidad

1. Trate de conocer los antecedentes de los terrenos alrededor de su hogar. Averigüe si han ocurrido deslizamientos o flujos en el área, contactando a las autoridades locales.
2. Fomentar y apoyar las iniciativas de las autoridades locales para que se implanten y respeten las normas y reglamentos que regulan la planificación y construcción de estructuras en áreas susceptibles a movimientos de ladera. Toda estructura de vivienda debe de ser construida en áreas lejos de taludes empinados, arroyos y ríos, canales que estén secos durante ciertos periodos del año y en las desembocaduras de canales provenientes de las montañas.
3. Vigilar el drenaje en los taludes alrededor de su hogar. En especial observe aquellos lugares donde las corrientes de agua convergen causando que el flujo de agua sobre esos suelos aumente. Manténgase atento a cualquier rasgo que pueda indicar algún movimiento de suelo en las colinas que estén cerca de su hogar, tales como pequeños deslizamientos, flujos de escombros y / o múltiples árboles inclinados cuesta abajo.
4. Contacte a las autoridades locales para enterarse de los planes de evacuación en su área, en caso de emergencia. También desarrolle sus propios planes de emergencia para usted y su familia en caso de que tengan que evacuar el área.
3. Esté atento a cualquier sonido producido por escombros en movimiento, tales como árboles derrumbándose o peñascos que chocan uno con otro. Usualmente los flujos y deslizamientos mayores son precedidos por movimientos pequeños. Si vive cerca de un canal o arroyo, debe de estar alerta a cualquier cambio súbito en los niveles y turbulencia del agua. Estos cambios pueden indicar que han ocurrido movimientos. Desaloje el área inmediatamente y no trate de salvar sus pertenencias. Usted y su familia son más importantes.
4. Cuando esté conduciendo un vehículo bajo condiciones de tormenta preste atención a los taludes de las carreteras ya que éstos son muy susceptibles a caídos, flujos y deslizamientos. Manténgase alerta por si ve lodo y rocas sobre la carretera, grietas o deformaciones del pavimento, ya que éstos pueden indicar la presencia de un movimiento de ladera.

Acciones durante una tormenta

1. ¡Manténgase despierto y alerta!. Muchas de las muertes causadas por flujos o deslizamientos ocurren de noche cuando la gente está durmiendo. Manténgase atento a los avisos de tormenta por la radio. Tenga presente que lluvias intensas de corta duración son particularmente peligrosas, especialmente si ocurren después de periodos largos de lluvia.
2. Considere evacuar su hogar si vive en un área que es susceptible a movimientos de ladera, teniendo en cuenta que puede hacerlo sin peligro.



Figura 46. Deslave en una carretera de Nicaragua
kyapa.tripod.com/elniroycarreteras

Procedimientos recomendables después de un movimiento de ladera

1. No asustarse, trate de mantener la calma y coordinarse con sus familiares, amigos y vecinos para tratar de salir de la zona de peligro e ir a un sitio seguro.
2. No precipitarse a “hincar pilotes”, porque esto podría debilitar aún más al material térreo de la ladera, al incrementar la presión del agua que se encuentra dentro de dicho material.
3. Analizar el agua expuesta en el lugar y remover el agua libre.
4. Revisar la configuración de la superficie del terreno antes y después de ocurrido el deslizamiento, para lo cual resulta sumamente útil la recomendación siguiente.
5. Observar el sitio desde el aire, si es posible, y estudiar fotografías aéreas de la zona.
6. Estudiar los movimientos previos que se puedan localizar.
7. Antes de buscar una solución, preguntarse? “Por qué ocurrió el movimiento?”.
8. Estudiar los registros existentes, antiguos y recientes, referentes al clima local y la sismicidad de la región.
9. Efectuar los estudios geotécnicos de exploración, muestreo, pruebas de laboratorio (para determinar las características de resistencia, deformabilidad y permeabilidad de los materiales térreos), efectuar los análisis de estabilidad necesarios.
10. Diseñar la solución de estabilización, basada en los cálculos de estabilidad correspondientes.
11. Instalar los sistemas de drenaje y / o estabilización necesarios.
12. Afinar y determinar los taludes y plantar una cubierta vegetal apropiada.
13. Preparar un expediente y registros que permitan documentar el problema. Asegurarse de que dichos documentos se depositen y mantengan en un sitio adecuado para ser usados regularmente en la inspección y el mantenimiento a lo largo de los trabajos enfocados a la estabilización, a mediano y largo plazo.



Figura 47. La acción del hombre también causa deslizamientos cuando este no construye adecuadamente y en lugares apropiados respetando la forma y resistencia que tienen las montañas. <http://dc-anzoategui.org/WEB12.HTML>

Medidas generales de monitoreo y alertamiento

Los sistemas de monitoreo y alertamiento se utilizan para proteger las vidas y las propiedades, no para evitar los problemas generados por la inestabilidad de laderas naturales. Sin embargo, esos sistemas proporcionan frecuentemente el alertamiento de movimiento de laderas, con el tiempo suficiente para la construcción física de medidas que podrían reducir el peligro inmediato o a mediano o largo plazo.

Las técnicas de monitoreo incluyen la observación de campo y el uso de varios instrumentos apropiados para medir los movimientos del terreno natural. En forma genérica, entre otros instrumentos se pueden incluir medidores de alambre, radares, rayos láser y medidores de vibración. La información proporcionada por estos instrumentos puede manejarse en tiempo real mediante un sistema de telemetría.

En las zonas identificadas como potencialmente peligrosas, en lo que se refiere a problemas de inestabilidad de laderas es importante implementar medidas de monitoreo permanente, tales como:

- ❖ Medición de la cantidad de agua de lluvia, asociada a las características de saturación del material térreo que pueden desencadenar la inestabilidad de una ladera. Para cuantificarla es posible disponer de una serie de pluviómetros simples y económicos
- ❖ Detección y medición directa de deformaciones y agrietamientos de la superficie de las laderas y sus tendencias de crecimiento
- ❖ Medición directa de la presión del agua subterránea, mediante la instalación de piezómetros
- ❖ Cuando algún problema de inestabilidad de laderas se presenta en forma lenta y paulatina, involucrando directamente a una zona habitada, los mismos moradores suelen detectar oportunamente la aparición de grietas en muros y pisos de las construcciones. Esto puede considerarse como una de las técnicas de monitoreo más confiables

Estimación sencilla de la lluvia que pudiera desencadenar un movimiento de ladera

El movimiento de una ladera puede ser ocasionado por un exceso de humedad, el cual generalmente se debe a fuertes precipitaciones. La lluvia continua durante varios días, o bien, la lluvia muy intensa en periodos cortos pueden propiciar la inestabilidad de una ladera. Por esta razón es importante medir regularmente la precipitación pluvial del sitio donde usted habita.

La cantidad de lluvia que ocurre en un día o durante un determinado periodo se puede medir fácilmente al captar en un recipiente graduado el agua que cae. Existen distintos recipientes que son utilizados comúnmente por los jardineros y que pueden ayudar a cuantificar las lluvias de un área en particular. Por ejemplo, hay receptores en forma de probeta (como el que se puede ver en la figura 48) que tienen una graduación en milímetros ó pulgadas, unidades con las cuales se mide la lluvia. Es preferible adquirir un recipiente graduado en milímetros, ya que eso permitirá comparar los valores medios de precipitación con la cantidad de agua que cae en los días con lluvias que no son muy comunes.



Figura 48.
Dispositivo para medir lluvia

El instrumento de medición debe ser colocado al aire libre en un sitio donde no haya obstáculos para la acumulación de agua, tales como árboles, techos, etc., y que no esté expuesto a perturbaciones por actividad humana (Fig. 49).

Todos los miembros de la comunidad deben de ser informados de la importancia de este aparato, con la finalidad de que lo protejan y verifiquen que esté funcionando correctamente. Debe haber una persona encargada de llevar el control de la cantidad de agua que se capta.

Para contar con una estadística confiable, la lluvia se tiene que medir diariamente de preferencia a la misma hora. Es recomendable hacer dos mediciones, una a las 8 de la mañana y otra a las 6 de la tarde. Estos datos deberán ser organizados semanal, mensual y anualmente para contar con un registro completo de lluvias de la loca



Figura 49. Instrumentos de medición
www.vppx134.vp.ehu.es/met/html

lidad. En caso de no contar con un dispositivo de medición apropiado, es factible usar una cubeta o recipiente que tenga marcas en milímetros y centímetros para poder tener una buena idea de la cantidad de precipitación.

Monitoreos sistemáticos

Específicamente, para monitorear en forma sistemática y con la aplicación de las tecnologías apropiadas la evolución de la inestabilidad de una ladera, es importante tener presente la medición a lo largo del tiempo de ciertos parámetros, tales como:

- ❖ Niveles de agua subterránea en la pendiente de la ladera
- ❖ El desplazamiento o movimiento, incluyendo: la profundidad de la superficie de falla o deslizamiento, la dirección, magnitud y velocidad del movimiento
- ❖ Medición directa y continua de la evolución de la presión del agua subterránea, mediante la instalación de piezómetros de medición continua y señal telemétrica

Para esto, la tecnología actual nos permite disponer de las técnicas siguientes, entre otras:

- ❖ Inclinómetros, que permiten detectar dirección de la superficie de falla o deslizamiento
- ❖ Extensómetros, que permiten indicar la magnitud del desplazamiento
- ❖ Piezómetros, que permiten determinar los niveles de agua subterránea infiltrada en el cuerpo de una ladera

En resumen, se puede decir que en la actualidad son variadas las técnicas y que es posible contar con equipos de medición de las condiciones de estabilidad de una ladera, lo suficientemente precisos y con respuesta inmediata. Para hacer uso de algunas de las tecnologías mencionadas, será indispensable diseñar el sistema de instrumentación y monitoreo, en función de las características geotécnicas, geohidrológicas y morfológicas particulares de cada problema en particular.

Algunos métodos para corregir fallas en laderas y taludes inestables

La acción más recomendable es consultar y, en el mejor de los casos, contratar los servicios de especialistas en geotecnia.

Todos los métodos correctivos siguen una o más de las siguientes líneas de acción:

1. Evitar la zona de movimiento o desplazamiento
2. Reducir las fuerzas motoras
3. Aumentar las fuerzas resistentes

El evitar la zona de falla suele estar ligado a acciones de reubicación de las zonas habitacionales, a la remoción total de los materiales inestables o a la construcción de estructuras que se apoyan en zonas firmes.

La reducción de las fuerzas motoras se puede lograr, en general, por dos métodos: remoción de material en la parte apropiada de la falla y subdrenaje, para disminuir el efecto de empujes hidrostáticos y el peso de las masas de tierra, que es menor cuando pierden agua.

Por lo común la línea de acción que ofrece más variantes es la que persigue aumentar las fuerzas resistentes; algunas de éstas son: el subdrenaje, que aumenta la resistencia del material térreo; la eliminación de estratos débiles u otras zonas de falla potencial; la construcción de estructuras de retención u otras restricciones y el uso de tratamientos, generalmente químicos, para elevar la resistencia de los materiales térreos al movimiento.



Figura 51. Estabilización de laderas por medios mecánicos.
www.fundacionglobalnature.org/sevilla/sevilero.html



Figura 50 . Sonda de Rotación para la realización de sondeos de reconocimiento



Figura 52. Ensayo de diferentes hidrotecnias para el control de torrentes y cárcavas de gran longitud aprovechando materiales del propio terreno.
www.fundacionglobalnature.org/sevilla/sevilero.html

Conclusión

La inestabilidad de laderas ha causado múltiples desastres en muchos países, incluyendo el nuestro. La prevención de estos desastres depende de los conocimientos y acciones que puedan tomar no sólo las autoridades de Protección Civil, sino también los habitantes de las comunidades propensas a este tipo de peligro natural.

Es importante que conozcamos cuáles son las causas de estos movimientos, cómo nos pueden afectar y cuáles son las acciones que debemos tomar antes, durante y después de su ocurrencia con la finalidad de mitigar y prevenir consecuencias desastrosas. Debido a que estos movimientos afectan a las personas sin importar edad o sexo, es necesario asegurarnos de que todos los miembros de la comunidad sean partícipes del desarrollo de una **cultura de prevención**.



Figura 54. Casas con peligro de derrumbe. naturatge.blogspot.com/2007_07_01_archive.html



Figura 53. Comunidad con elevada exposición al riesgo. www.ariadna-rc.com/numero06/el-laberinto/el-laberinto3.htm



Glosario

Abrasión. Erosión de material rocoso por fricción de partículas sólidas puestas en movimiento por el agua, el hielo, el viento o la fuerza de gravedad.

Acuífero. Material permeable a través del cual se mueve el agua del subsuelo.

Agua del subsuelo. Agua que está bajo la superficie del terreno; también se menciona como agua subterránea.

Agua freática. Agua subterránea dentro de la zona de saturación.

Asentamiento. Hundimiento que sufre el terreno por efecto de la acción de cargas o fuerzas que alteran el estado de equilibrio del terreno natural.

Agua subterránea. Agua que se encuentra debajo de la superficie del terreno; se conoce también como agua del subsuelo.

Avalancha. Desprendimiento súbito y progresivo de una mezcla de roca, tierra y agua o nieve que cae ladera abajo.

Caídos de terreno. Fragmentos de tierra o roca que se desprenden y se depositan en la parte baja de una ladera.

Corona de un talud. Parte superior de un talud.

Concooidales. Que tienen forma de concha.

Cuña. Que tiene forma de prisma triangular.

Clásticos. Sedimentos derivados de las rocas desmenuzadas, frecuentemente con algún cambio químico (del griego *clastos* "roto") y se forman por la acumulación de partículas de roca fragmentada (o de fósiles).

Deformación de rocas. Cualquier cambio en la forma original o en el volumen de la masa de rocas. Se produce por fuerzas epigénicas (que forman montañas). En este fenómeno son procesos comunes el plegamiento, el afloramiento y el flujo plástico.

Deformabilidad y compresibilidad de roca. Modificación de la forma geométrica de una roca y reducción de su volumen por la acción de las fuerzas externas.

Degradación de la roca. Modificación de las propiedades físicas y químicas de una roca por la acción de agentes externos, tendientes a desintegrarla.

Depósito de suelo. Región donde se depositan materiales que cuentan con coherencia natural, derivada del tipo y tamaño microscópico de las partículas individuales que los forman.

Deforestación. Pérdida de la vegetación natural de una región geográfica, producto de la actividad humana.

Descomposición. Sinónimo de intemperismo o meteorización química.

Desplomo. Pérdida de la verticalidad de un cuerpo cualquiera con geometría determinada.

Desecación. Pérdida de agua por los poros de los sedimentos debida a la compactación, o a evaporación causada por exposición al aire.

Desintegración. Sinónimo de intemperismo o meteorización mecánica.

Deslizamiento. Aplicado a suelos y a material superficial, se refiere a movimiento plástico lento hacia abajo. Aplicado a sólidos elásticos, alude a deformación permanente a causa de algún esfuerzo.

Deslizamiento en arcillas sensibles. Cuando el cuerpo de un talud contiene material arcilloso, su estabilidad depende en gran medida de la presencia de agua. Los suelos arcillosos modifican su consistencia por una secuencia de estados físicos: de sólidos en suspensión; semisólido; y sólido; en función de la pérdida de agua de los poros del material térreo y la consecuente consolidación que la afecta. Al proseguir la pérdida paulatina de agua, del interior del suelo, se genera una reducción progresiva de sus oquedades y se dice que el material arcilloso está en proceso de litificación. Durante éste, las partículas de arcilla empiezan a unirse para formar una roca, denominada lutita o pizarra. Sin embargo, cuando el material arcilloso se encuentra nuevamente en contacto con el agua, ésta ejerce

sobre aquél un reblandecimiento importante, acompañado de variaciones volumétricas.

Deslizamiento de rocas. Deslizamiento rápido y repentino de rocas a lo largo de planos de debilidad.

Deslizamiento del terreno. Término general que se aplica a movimiento relativamente rápido de masa térrea. Ejemplos: desplome, subsidencia o colapso de rocas, deslizamiento de escombros, flujo de lodo y flujo de terreno.

Discontinuidad. Falta de continuidad en una formación geológica que originalmente se manifestaba en la naturaleza en forma continua en el tiempo y en el espacio.

Echado o buzamiento. En geología, una capa de roca que buza es una capa inclinada, y el echado es el ángulo de inclinación de una superficie medida con respecto a la línea horizontal.

Estado pendiente => Echado. El ángulo agudo máximo que forma la superficie de una roca con un plano horizontal. La dirección del echado siempre es perpendicular al rumbo de la capa.

Erupción volcánica. Emisión explosiva o lenta, de lava, materiales piroclásticos o gases volcánicos hacia la superficie de la tierra, usualmente a través de un cono volcánico y raramente por fisuras.

Ecurrimiento. Agua que fluye sobre la superficie de la tierra.

Estabilidad de taludes. Involucra a los problemas principales que se plantean en los taludes de tierra y/o roca, inclusive el control de deslizamientos y caídos a los lados de los cortes, a los costados de los depósitos de materiales de relleno y en las faldas de las colinas naturales. Los estudios geotécnicos representan una herramienta poderosa para definir la solución de los problemas de estabilidad de taludes.

Estado de esfuerzo. Magnitud de los esfuerzos de tensión o compresión que pro-

pician el estado en el que un elemento geológico se presenta en la naturaleza.

Estratificación.

- 1) Estructura producida por depósito o sedimentación en estratos o capas
- 2) Término colectivo que se usa para indicar la existencia de capas o estratos en rocas sedimentarias, y ocasionalmente en ígneas y metamórficas.
- 3) Algunas veces se usa como sinónimo de plano de estratificación.

Escalonamiento. Mecanismo por medio del cual la superficie inclinada de un talud natural manifiesta diferencias de elevación, originando un perfil inclinado con discontinuidades verticales.

Estratificación gradual. Tipo de estratificación que ocurre en depósitos sedimentarios cuando las partículas son progresivamente más finas de abajo hacia arriba.

Erosión. La remoción de suelo y partículas de roca por el viento, ríos y hielo reciben el nombre de erosión.

Erosión diferencial. Proceso de desgaste desigual del terreno natural, normalmente por acción del agua o del viento.

Estrato. Capa de suelo o de roca que se localiza en una región, originalmente en posición horizontal; en ocasiones su espesor puede ser muy variable.

Falla. Superficie de ruptura de una roca a lo largo de la cual ha habido movimiento diferencial.

Fallas de ladera. Son mecanismos desequilibrados que pueden derivar en desprendimiento de suelo y roca por acción de las fuerzas originadas por la atracción de las fuerzas de la gravedad de la tierra.

Fallas de pendiente. Movimiento hacia abajo y hacia fuera de la roca o del material sin consolidar, como una unidad o como una serie de unidades.

Fallas rotacionales. Superficie de ruptura de una formación geológica que describe una superficie circular, a lo largo de la cual ha habido movimiento diferencial.

Formaciones. Rasgos geológicos característicos de una región de la tierra, determinados por los materiales existentes y los procesos físicos que les dieron origen en el devenir histórico de la tierra.

Fluido. Material que ofrece poca o ninguna resistencia a las fuerzas que tienden a cambiar de forma.

Flujo => Flujo de lodo. Movimiento de una masa bien mezclada de roca, tierra y agua, que se comporta como fluido y se desplaza

pendiente abajo; su consistencia es similar a la del concreto recién mezclado.

Flujo de roca. Combinación de desplome y flujo de lodo.

Fracturamiento. Los patrones de ruptura determinan generalmente la consistencia de las masas rocosas. Los patrones de estratificación y fracturamiento o ruptura así como los lentes de roca muy intemperizada son los factores que controlan la consistencia de la roca.

Geotecnia. Es la aplicación de las ciencias de la tierra a la solución de los problemas de ingeniería civil.

Génesis del sitio. Es la serie de procesos geológicos que han dado origen a los rasgos físicos de un sitio determinado, abarcando la secuencia de dichos procesos, en el devenir histórico.

Grieta

- 1) Fisura
- 2) Abertura o brecha de un bordo natural

Hidrología. La ciencia de la hidrología tanto con la ocurrencia y movimiento del agua en y sobre la superficie de la tierra. Se relaciona con las varias formas de humedad que se presentan, la transformación entre los estados líquido, sólido y gaseoso de las mismas en la atmósfera y en las capas superficiales de las masas de terreno natural.

Horizonte de suelo. Capa de material superficial o cercano y aproximadamente paralelo a la superficie del terreno, de características observables producidas mediante los procesos generadores de suelos.

Hundimiento. (En la parte alta de una ladera). Movimiento hacia abajo y hacia fuera de la roca o del material sin consolidar, como una unidad o como una serie de unidades. Se le llama también falla de pendiente.

Inestabilidad de laderas naturales. Conocidas también como deslizamiento del terreno, o de tierra, implica movimiento de rocas y/o suelo por la acción de la gravedad. Los deslizamientos de tierra sucedidos en el pasado son responsables de las características topográficas del paisaje natural actual.

Inclinación. Ángulo que manifiesta la pérdida de la verticalidad original de la vegetación o de objetos construidos por el hombre, localizados sobre la superficie inclinada de un talud o ladera natural que se encuentra en movimiento descendente a causa de su inestabilidad o falla.

Inundaciones. Acumulación de niveles extraordinarios de agua, sobre terrenos normalmente planos y de poca elevación con res-

pecto al nivel medio de agua presente en los receptáculos naturales y artificiales circundantes a una región.

Infiltración. Penetración de agua superficial hacia el interior de la tierra.

Intemperismo. Reacción de material, que alguna vez estuvo en equilibrio dentro de la corteza terrestre, a nuevas condiciones en o cerca del contacto con agua, aire o materia viviente.

Intemperismo mecánico. Proceso mediante el cual las rocas se rompen en fragmentos cada vez más pequeños, como resultado de la energía desarrollada por fuerzas físicas. Se conoce también como desintegración.

Intemperismo químico. Meteorización de las rocas debida a procesos que transforman el material original en nuevas combinaciones químicas. Así el intemperismo químico de la ortoclasa produce arcilla, algo de sílice y una sal soluble de potasio

Irregularidades topográficas. Cambios importantes en altura o forma de los rasgos naturales existentes, como la presencia de un valle redondo de cadenas montañosas.

Ladera. Costado de un terraplén o de una montaña.

Laderas naturales. Costados de las montañas, representados por las faldas de los cerros.

Licuefacción de suelos. Consiste en la pérdida de resistencia de suelos arenosos, con partículas de tamaño uniforme y que se encuentren saturados. Como consecuencia de las vibraciones del terreno natural que origina el paso de ondas sísmicas, durante la ocurrencia de un temblor.

Límite elástico. Esfuerzo máximo que puede soportar un sólido sin sufrir deformación permanente, sea por flujo plástico o por ruptura.

Litificación. Proceso mediante el cual el material térreo no consolidado adquiere la cualidad de consolidación o coherencia.

Litológicas (características litológicas).

Representa las características estratigráficas de una formación geológica o de una zona de terreno, es decir, los tipos de roca, como se presentan, tamaño de grano, color y constituyentes minerales.

Mapeo. Representación gráfica que intenta dar una idea general de la geología de la zona; debe incluir todos los rasgos geológicos –estructurales presentes. Generalmente, hay dos fases en la preparación de mapas para estructuras específicas. En la primera se hace una investigación de reconocimiento. En ésta el geólogo utiliza la brújula, tipo Brunton, o semejante para medir ángulos horizontales, pendientes de laderas, rumbos y buzamientos. En la segunda fase, para más detalle, utiliza generalmente una mesa plana y una alidada (plancheta). Con éstas puede establecer la situación de los contactos entre formaciones y los rasgos geológicos estructurales de la zona, con un grado de exactitud razonable.

Material cohesivo. Material coherente, se refiere a suelos en los cuales el agua absorbida y la atracción entre las partículas actúan conjuntamente para producir una masa que se mantiene unida y se deforma plásticamente con cantidades de agua variables. Se les conoce como suelos cohesivos o arcillas.

Material consolidado. Material constituido por cualquiera de los tipos de roca que existen en la naturaleza.

Material térreo. Material que en conjunto puede estar integrado por arcilla, limo, arena y fragmentos de roca.

Generalmente se hace una distinción entre suelo y roca por el hecho de que el suelo es una masa formada por diminutas partículas que se encuentran acomodadas en la naturaleza formando una estructura esquelética, mientras que la roca es una estructura densa con las partículas unidas justamente entre sí.

Mecánica de suelos. Es la ciencia que estudia la estabilidad de las formaciones geológicas

conformadas por sedimentos no consolidados (material térreo), el flujo de agua desde, hacia y a través de una masa de suelo, y permite evaluar si los riesgos asociados son tolerables en términos económicos y de seguridad para la población.

Geológicamente, la mecánica de suelos está relacionada con los materiales térreos, no consolidados, producto de la desintegración de formaciones de roca, este material normalmente sobreyace a las formaciones geológicas de roca originales.

Mecánica de rocas. Es la ciencia que estudia la estabilidad de las formaciones geológicas conformadas por sedimentos consolidados, denominados roca.

Meteorología. Estudio de los fenómenos atmosféricos, de la previsión del tiempo.

Montaña. Cualquier porción de una masa térrea que sobresale claramente con respecto a su entorno.

Nivel freático. Superficie más alta de la zona de saturación del agua subterránea. Es irregular, con pendiente y forma determinadas por la cantidad de agua freática o subterránea y por la permeabilidad de las rocas. En general, bajo lomas y cerros su profundidad es menor y mayor en los valles.

Orogenia . Proceso mediante el cual se desarrollan las estructuras de las montañas.

Plano de estratificación. Superficie que separa capas de rocas sedimentarias. Cada plano marca la terminación de un depósito y el principio de otro de características diferentes o semejantes; por ejemplo la superficie que separa una capa de arenisca de una de lutita, de una caliza con respecto a otra también de caliza. Las rocas tienden a separarse o romperse fácilmente a lo largo de los planos de estratificación.

Plano de falla. Superficie de contacto entre formaciones geológicas, iguales o diferentes, producto de fracturamiento previo del terreno natural.

Plegamiento. Distorsión de una estructura geológica. Las estructuras plegadas se deben a la compresión dentro de la corteza terrestre generada por el movimiento lateral de los continentes.

Procesos geológicos. Son los diversos procesos que continuamente actúan sobre la superficie de la tierra, son el aplanamiento de relieve, el diastrofismo y el vulcanismo. La gradación es la demolición de los elementos morfológicos existentes (inclusive montañas). La erosión, por ejemplo, es un caso particular del arrasamiento llevado a cabo por la acción del agua, el aire o el del hielo.

Propiedades mecánicas de resistencia. Son la capacidad de las formaciones geológicas para resistir, sin romperse, a los distintos mecanismos que actúan sobre ellas por medio de fuerzas aplicadas.

Resistencia. Fuerza necesaria para que ocurra la ruptura o para que comience la deformación plástica.

Roca. Agregado de minerales de diferentes especies en proporciones variables.

Sedimentos no consolidados. Material producto de la desintegración de rocas. Según el grado de desintegración y degradación física y/o química de los sedimentos en orden descendente del tamaño de sus partículas, éstos pueden ser: fragmentos de roca, cantos rodados, grava, arena, limo, arcilla o materia orgánica. Comúnmente los depósitos de sedimentos no consolidados están formados por la combinación de partículas de una amplia gama de tamaños, que en ocasiones incluyen hasta fragmentos de roca, con dimensiones y proporciones diversas.

Sedimentación. Proceso mediante el cual se asienta la materia orgánica y la mineral.

Subsidencia. Reducción del nivel del material del terreno, debido a desplazamientos verticales, horizontales o por una superposición de los dos tipos de movimiento mencionados.

Suelo. Material que se forma en la superficie de la tierra como resultado de procesos orgánicos. El suelo varía según el clima, la vida animal y vegetal, el tiempo, la pendiente del terreno y el material (rocoso) del que se deriva.

Superficie de dislocación. Superficie a lo largo de la cual se desprende parte de una formación geológica.

Talud.

1) Pendiente formada por la acumulación de fragmentos de roca al pie de los acantilados o de montañas. Los fragmentos de roca que forman el talud pueden ser escombros, material de deslizamiento o pedazos rotos desprendidos por la acción de las heladas. Sin embargo, el término talud se usa en realidad muy ampliamente para referirse a los escombros de roca en sí.

2) Se conoce con el nombre genérico de talud a cualquier cuerpo de tierra y/o rocas que se encuentran delimitando por una superficie inclinada y forma un ángulo determinado respecto a la horizontal. Los taludes se clasifican en naturales y artificiales.

3) Cuando el talud se produce de manera espontánea, según las leyes de la naturaleza (sin intervención humana), se denomina ladera natural, o simplemente ladera.

4) Cuando el hombre lo realiza se denomina talud artificial, que puede ser de corte o de terraplén, o simplemente talud. Para efectuar algún corte se realiza la excavación en una o más formaciones geológicas; en tanto que los taludes artificiales son los lados inclinados de los terraplenes construidos con materiales seleccionados y compactados mecánicamente.

Taludes artificiales. Superficies inclinadas que unen los desniveles del terreno, producto de actividades de construcción, ya sea por corte o relleno o construcción de un terraplén artificial.

Tensión. Tipo de acción, en términos de fuerza o esfuerzo cuyos efectos se manifiestan a manera de un jalón o un tirón.

Sismo. Fracturamiento repentino de una porción de la litósfera terrestre (cubierta rígida del planeta) como consecuencia de la acumulación de esfuerzos de deformación. La energía liberada por el rompimiento se propaga en forma de ondas sísmicas, hasta grandes distancias.

Vaguada. Una vaguada es una ondulación del viento en altura con movimientos del Oeste al Este, generando nubosidad y precipitaciones pluviales. Las vaguadas se pueden presentar en cualquier momento del año, pero con mayor frecuencia al inicio y al final de la temporada de lluvias.

Valoración regional. Estudio detallado de las características topográficas, geológicas y del comportamiento geotécnico de una región, con el fin de conocer el comportamiento de las formaciones geológicas que permita evaluar los riesgos ante las posibles inestabilidades estáticas, por la saturación causada por las precipitaciones pluviales y dinámicas de origen sísmico de las mismas.

Bibliografía

- Bromhead, E.N. 1986. *The Stability of Slopes*. Surrey University Press/Chapman and Hall, New York.
- Brunsdon, D. y Prior, D.B. 1987. *Slope Instability*, John Wiley & Sons. Chichester, UK.
- Crozier, M.J. 1986. *Landslides: Causes, Consequences and Environment*. Routledge, London.
- Dikau, R. Brunsdon, D., Schrott, L. e Ibsen, M.L., 1996. *Landslide Recognition: identification, movement and causes*, John Wiley and Sons.
- FEMA, 1989. *Landslide Losses Reduction: a guide for State and Local Government Planning*, Earthquake Hazards Reduction Series 52.
- Legget R.F. y Karrow P.F. 1986. *Geología Aplicada a la Ingeniería Civil*, Mc Graw-Hill.
- Kninine D.P. y Judd, W.R. 1980. *Principios de Geología y Geotecnia para Ingenieros*, Ediciones Omega, Barcelona.
- Marsal, R.J. y Mendoza, M.J. 1985. *cambios en las propiedades geotécnicas de algunos suelos trópico residuales debido al tratamiento previo a su ensaye*, Publicación No. 48, CFE, México.
- Mendoza, M.J., Noriega, I. y Domínguez, L. 2000. *Deslizamientos de laderas en Teziutlán, Pue., provocados por las lluvias intensas de octubre de 1999*. SEGOB, CENAPRED.
- Schuster, R.L. y Krizek, R.J. (Eds.) 1978. *Landslides Analysis and Control*. Transport Research Board, Special Report.
- Terzaghi K. y Peck, R. B. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*, Wiley International.
- Turner, A.K. y Schuster, R.L. 1996. *Landslides, investigation and mitigation*. Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247. National Academy Press, Washington D.C.
- WP/WLI (International Geotechnical Societies´s UNESCO Working Party for World Landslide Inventory), 1995. *Velocity classes for landslides*, Bulletin International Association of Engineering Geology.
- Zaruba, Q. and Mencl, V. 1982. *Landslides and Their Control*, 2nd edition. Elsevier, Amsterdam, Oxford.



**Coordinación General de Protección Civil
Centro Nacional de Prevención de Desastres
Dirección General de Protección Civil
Dirección General del Fondo de Desastres Naturales**

Av. Delfín Madrigal No.665,
Col. Pedregal de Sto. Domingo,
Deleg. Coyoacán,
México D.F., C.P. 04360

www.cenapred.unam.mx