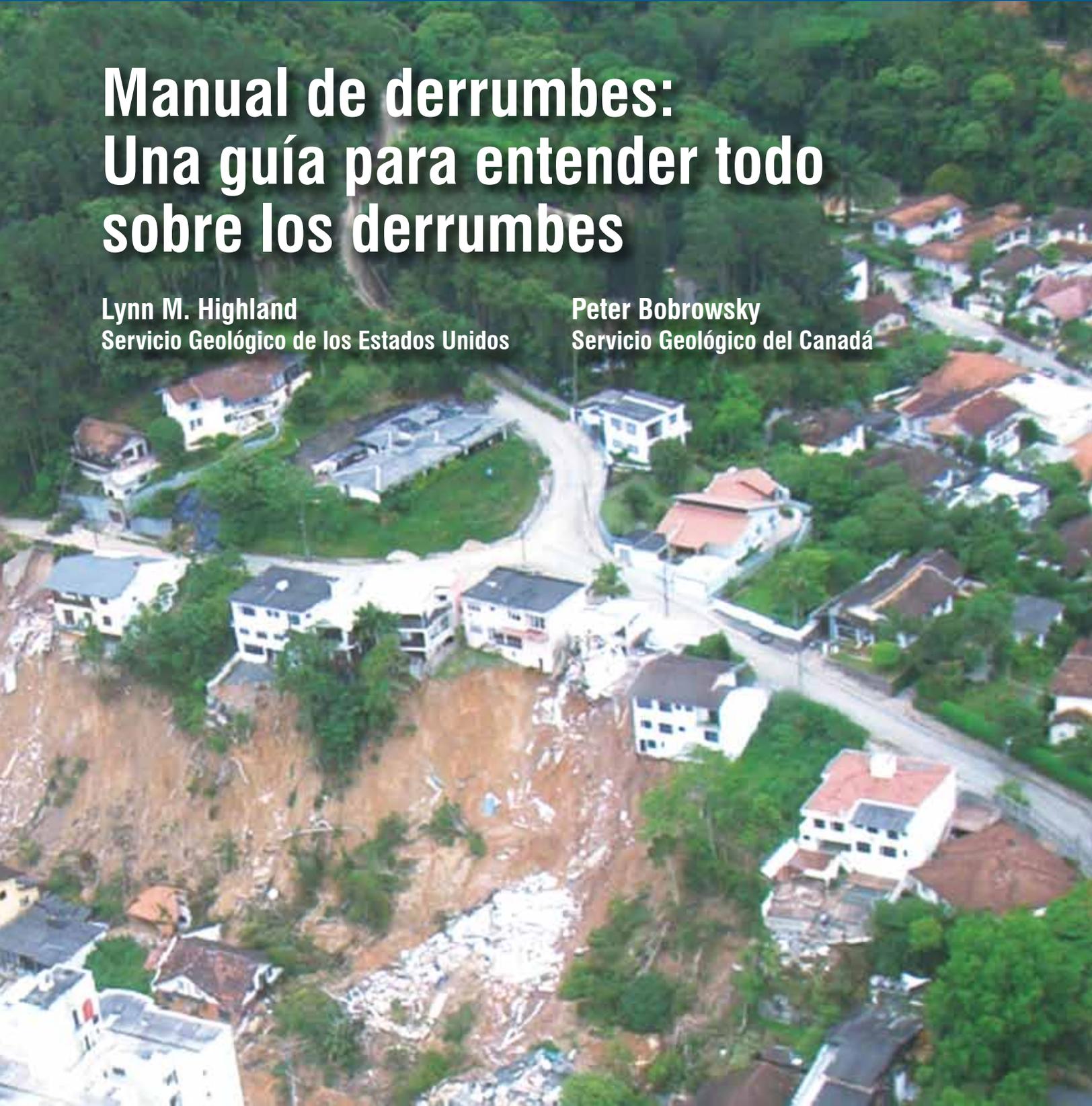


Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes

Lynn M. Highland
Servicio Geológico de los Estados Unidos

Peter Bobrowsky
Servicio Geológico del Canadá



Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes

Por Lynn M. Highland, Servicio Geológico de los Estados Unidos
y Peter Bobrowsky, Servicio Geológico del Canadá

Circular 1325



Departamento del Interior de los EE.UU.
Servicio Geológico de los EE.UU.

Departamento de Gobernación de los EE.UU
DIRK KEMPTHORNE, Secretario

Servicio Geológico de los EE.UU
Mark D. Myers, Director

Servicio Geológico de los EE.UU., Reston, Virginia: 2008

Para obtener información sobre productos y para hacer pedidos: <http://www.usgs.gov/pubprod> Telephone: 1-888-ASK-USGS

Para obtener mayor información sobre el Servicio Geológico de los EE.UU., fuente federal para la ciencia acerca de la Tierra, sus recursos naturales y vivos, peligros naturales y el medio ambiente: <http://www.usgs.gov> Telephone: 1-888-ASK-USGS

Todo uso de nombre de producto, comercio o empresas es para propósitos descriptivos únicamente y no implica que el Gobierno de los Estados Unidos lo avale.

Aunque este informe es de dominio público, se debe obtener permiso de los propietarios individuales para emplear sus derechos de autor para reproducir materiales que gozan de derechos de autor contenidos en este informe.

Cita sugerida:

Highland, L.M., y Bobrowsky, Peter, 2008, Manual de derrumbes. Guía para entender todo sobre los derrumbes: Reston, Virginia, Circular 1325 del Sistema Geológico de los EUA, 129 p

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consorcio Internacional sobre Deslizamientos por patrocinar este proyecto y a los muchos revisores que dedicaron gran parte de su tiempo y esfuerzo a la revisión cuidadosa de este libro. Gracias también a los que dieron autorización para utilizar sus textos publicados anteriormente, fotografías y gráficas a los autores de investigación y la información cuyo arduo trabajo fue crucial para su finalización. Damos las gracias al Servicio Geológico del Canadá y especialmente a Jan Aylsworth por su revisión y sugerencias valiosas. Además, agradecemos al Servicio Geológico de los Estados Unidos, sobre todo a Paula Gori, que apoyó el proceso completo de elaboración del manual y prestó asesoramiento y aliento. Ésta es la Contribución Número 20080377 del Servicio Geológico del Canadá del Canadá.

Contenido

Agradecimientos	iii
Cómo leer esta guía	xvii
Téngase en cuenta	xvii
Introducción	1
Para obtener más información	2
Sección I. Información básica sobre los derrumbes	3
Parte A - ¿Qué es un derrumbe?	4
Parte B - Principales tipos de derrumbes	5
Caídas	6
Caída de rocas	6
Incidencia y tamaño/rango relativos	6
Velocidad de desplazamiento	6
Mecanismo gatillador	7
Efectos (directos/indirectos)	7
Medidas correctivas/de mitigación	7
Capacidad predictiva	7
Derribo	9
Incidencia	9
Velocidad de desplazamiento	9
Mecanismo gatillador	9
Efectos (directos/indirectos)	9
Medidas correctivas/de mitigación	9
Capacidad predictiva	10
Deslizamientos	11
Deslizamientos rotativos	11
Incidencia	11
Tamaño/rango relativos	11
Velocidad de desplazamiento (tasa de movimiento)	11
Mecanismo gatillador	11
Efectos (directos/indirectos)	12
Medidas de mitigación	12
Capacidad Predictiva	12
Deslizamientos de traslación	14
Incidencia	14
Tamaño/rango relativos	14
Velocidad de desplazamiento	14
Mecanismo gatillador	14
Efectos (directos/indirectos)	15
Medidas de mitigación	15
Capacidad Predictiva	15
Extenciones	17
Extenciones laterales	17
Incidencia	17
Tamaño/rango relativos	17

Velocidad de desplazamiento	17
Mecanismo gatillador	18
Efectos (directos/indirectos)	18
Medidas de mitigación	18
Capacidad Predictiva	18
Corrientes	20
Corriente de escombros	20
Incidencia	20
Tamaño/rango relativos	20
Velocidad de desplazamiento	20
Mecanismo gatillador	21
Efectos (directos/indirectos)	21
Medidas de mitigación	21
Capacidad Predictiva	21
Lahares (Corrientes de escombros volcánicos)	23
Incidencia	23
Tamaño/rango relativos	23
Velocidad de desplazamiento	23
Mecanismo gatillador	23
Efectos (directos/indirectos)	24
Medidas de mitigación	24
Capacidad Predictiva	24
Avalancha de escombros	26
Incidencia	26
Tamaño/rango relativos	26
Velocidad de desplazamiento	26
Mecanismo gatillador	26
Efectos (directos/indirectos)	26
Medidas de mitigación	27
Capacidad Predictiva	27
Corrientes de tierra	28
Incidencia	28
Tamaño/rango relativos	28
Velocidad de desplazamiento	28
Mecanismo gatillador	28
Efectos (directos/indirectos)	29
Medidas de mitigación	29
Capacidad Predictiva	29
Corrientes lentas de tierra (arrastre)	31
Incidencia	31
Tamaño/rango relativos	31
Velocidad de desplazamiento	31
Mecanismo gatillador	31
Efectos (directos/indirectos)	32
Medidas de mitigación	32
Capacidad Predictiva	32

Corrientes en permafrost (permafrost)	34
Incidencia	34
Tamaño/rango relativos	34
Velocidad de desplazamiento	34
Mecanismo gatillador	34
Efectos (directos/indirectos)	34
Medidas de mitigación	35
Capacidad Predictiva	35
Parte C - ¿Dónde ocurren los derrumbes?	37
Parte D - ¿Qué causa los derrumbes?	39
Incidencia natural	39
Derrumbes y agua	39
Derrumbes y actividad sísmica	41
Derrumbes y actividad volcánica	42
Actividades humanas	43
Parte E. ¿Cuáles son los efectos y consecuencias de los derrumbes?	44
Efectos de los derrumbes en el entorno construido	44
Efectos de los derrumbes en el ambiente natural	45
Parte F. Interrelación de los derrumbes con otros peligros naturales	50
Efecto de peligros múltiples	50
Sección II. Evaluando y Comunicando el Peligro de Derrumbe	53
Parte A. Evaluación del peligro de derrumbe	54
Observación y/o inspección por expertos locales y/o funcionarios municipales y propietarios	54
Rasgos que podrían indicar movimiento de derrumbes	54
Herramientas tecnológicas para evaluar derrumbes:	
Cartografía, teledetección, y monitoreo	57
Análisis de mapas	57
Reconocimiento aéreo	57
Reconocimiento de terreno	58
Perforaciones	58
Instrumentación	58
Estudios geofísicos	59
Imágenes y perfiles acústicos	59
Análisis computarizado del terreno de los derrumbes	59
Parte B. Comunicación de del peligro de un derrumbe	60
Información sobre seguridad	60
Información sobre edificios y construcciones	60
Sugerencias de extensión gubernamental en el caos de peligros de derrumbes	61
Ejemplos de señales de advertencia de los peligros	62
Sección III. Conceptos y enfoques para la mitigación	63
Parte A. Examen general de los métodos de mitigación para diversos tipos de peligros de derrumbes	64
Estabilización del suelo en laderas	64
Mitigación del peligro de caída de rocas	65

Mitigación del peligro de corrientes de desecho.....	65
Mitigación con diques para derrumbe	65
Métodos de mitigación biotécnica de los derrumbes	68
Parte B. Técnicas sencillas de mitigación para hogar y negocios, administradores y ciudadanos	69
Parte C. Lista de trabajos consultados/citados/nombrados y para lecturas más avanzadas	70
Apéndice A. Información básica sobre derrumbes	73
Parte 1. Glosario de términos relativos a los derrumbes	74
Referencias para el glosario	77
Parte 2. Partes de un derrumbes: descripción de rasgos/glosario	78
Fuentes de información de la nomenclatura	79
Parte 3. Causas de los derrumbes y mecanismos disparadores	80
Causas naturales	80
Causas geológicas	80
Causas morfológicas	80
Causas físicas-gatilladores	80
Causas humanas	80
Apéndice B. Introducción a las herramientas para la evaluación de los derrumbes: cartografía, teledetección y control de los derrumbes	81
Parte 1. Cartografía	82
Cartografía regional	82
Cartografía en las comunidades	83
Cartografía específica de los sitios	83
Tres importantes criterios para los mapas de derrumbes	83
Mapas de inventarios de derrumbes	84
Mapas de susceptibilidad a los derrumbes	85
Mapas del peligro de derrumbes	86
Parte 2. Teledetección y otras herramientas que muestran características de los derrumbes	87
Parte 3. Control de derrumbes en tiempo real e instrumentación empleada en los derrumbes	92
Apéndice C. Introducción a la estabilización y mitigación de derrumbes	93
Parte 1. Estabilización/mitigación en laderas de tierra	94
Excavación	94
Eliminación de la tierra de la cumbre de una pendiente	94
Reducción de la pendiente de la ladera	95
Relleno con materiales livianos	97
Barreras	98
Aplanamiento o reducción del ángulo de la ladera	98
Cuándo no se debe excavar una masa que se derrumba	98
Fortalecimiento de las pendientes	99
Refuerzo con malla de plástico	99
Contrafuertes con rellenos de roca	99
Recubrimiento de los canales de los arroyos	101
Diques de control	102
Cómo impedir que falle un dique de control	102

Técnicas de drenaje	105
Nivelación del sitio	105
Cunetas y drenajes	105
Tuberías de drenaje	107
Cilindros y pacas de paja	109
Muros de contención	110
Armazones de madera	110
Muro de cajón acero	112
Muro de tierra reforzado	113
Muros de gaviones	114
Pilotes	116
Estabilización de laderas con el uso de vegetación	117
Tipos de semillas	117
Mantillo	118
Protección biotécnica de laderas	118
Parte 2. Técnicas de estabilización/mitigación de taludes de roca	122
Técnicas seguras de captación	123
Zanjas de captación	123
Cable, malla, cercas y cortinas de roca	123
Muros de contención	126
Cobertizos o albergues contra rocas	126
Refuerzo de salientes de roca	126
Excavación de la roca	128
Bancos	128
Raspado y recorte	129
Refuerzo de las áreas potenciales de derrumbe de rocas	131
Hormigón lanzado y “gunite”	131
Anclas, pernos y clavijas	132
Parte 3. Mitigación de corrientes de escombros	133
Fortalecimiento de las pendientes para controlar la erosión y las corrientes de escombros	133
Fortalecimiento del suelo para resistir la erosión	134
Sembrar plantas adecuadamente en las laderas puede prevenir la erosión	134
Mantener las laderas limpias de material combustible para evitar incendios forestales	134
Estructuras para la mitigación de las corrientes de escombros	135
Cuencas de corrientes de escombros	135
Diques de contención	135
Muros de contención de las corrientes de escombros	136
Mitigación de las corrientes de escombros por el dueño de casa	137
Cosas básicas que hay que recordar en cuanto a mitigación de las corrientes de escombros y otros peligros de deslizamiento / Respuesta a emergencias	146
Mitigación con diques contra deslizamiento	147
Desvío de los caudales de agua antes de que ingresen al lago	147
Drenaje temporal de un embalse por medio de bombas o sifones	147

Construcción de un aliviadero resistente a la erosión	148
Túnel de drenaje a través de un pilar contrafuerte	148
Apéndice D. Ejemplo de información sobre seguridad para distribuir en caso de deslizamientos de tierra o corrientes de escombros	151
¿Qué puede hacer si vive cerca de colinas escarpadas?	152
Antes de tormentas intensas	152
Durante tormentas intensas	152
Qué hacer si sospecha que hay peligro inminente de derrumbe	152
Después de producirse deslizamientos de tierra	153
Índice	154

Figuras

Figura 1.	Este deslizamiento de tierra ocurrido en La Conchita, California, EE.UU en 2005	4
Figura 2.	Una ilustración simple de un deslizamiento rotacional que se ha convertido en corriente de tierra	5
Figura 3.	Esquema de un desprendimiento de rocas	8
Figura 4.	Un desprendimiento de roca que se produjo en el cañón Clear Creek, Colorado, EE.UU., en 2005	8
Figura 5.	Esquema de un derribo	10
Figura 6.	Fotografía de bloque de derribo en Fort St. John, Columbia Británica, Canadá	10
Figura 7.	Esquema de un deslizamiento de rotación	12
Figura 8.	Fotografía de un deslizamiento de tierra de rotación que se produjo en Nueva Zelanda	13
Figura 9.	Esquema de un deslizamiento de traslación	15
Figura 10.	Un deslizamiento de traslación que se produjo en 2001 en el Valle del Río Beaton, Columbia Británica, Canadá	16
Figura 11.	Esquema de una extensión lateral. Una capa licuable está debajo de la capa superficial	19
Figura 12.	Fotografía de los daños causados por una extensión lateral en una carretera como consecuencia del terremoto de Loma Prieta, California, EE.UU., en 1989	19
Figura 13.	Esquema de una corriente de escombros	22
Figura 14.	Los daños producidos por la corriente de escombros a la ciudad de Caraballeda	22
Figura 15.	Esquema de un lahar	24
Figura 16.	Fotografía de un lahar causado por la erupción de 1982 del Monte Saint Helens en Washington, EE.UU	25
Figura 17.	Esquema de una avalancha de escombros	27
Figura 18.	Una avalancha de escombros que sepultó la aldea de Guinsaugon, en el sur de Leyte, Filipinas, en febrero de 2006	27
Figura 19.	Esquema de una corriente de tierra	29
Figura 20.	El 1993, el deslizamiento de tierra Lemieux, una corriente de tierra rápida en arcillas marinas vulnerables cerca de Ottawa, Canadá	30
Figura 21.	Esquema de una corriente de tierra lenta, a menudo llamada arrastre. (Esquema modificado tomado de la referencia 9)	32
Figura 22.	Esta fotografía muestra los efectos del arrastre en una zona cerca de East Sussex, Reino Unido, llamado Chalk Grasslands	33
Figura 23.	Esquema de un deslizamiento de corriente de descongelamiento retrógrado. (Esquema de Jan Aylsworth, Servicio Geológico de Canadá	35

Figura 24.	Fotografía de una corriente de deshielo retrógrado en los Territorios del Noroeste, Canadá. Es probable que incendios forestales hayan contribuido a la magnitud de la corriente al dañar una capa de musgo aislante, lo cual ocasiona el engrosamiento de la capa activa, que está derritiendo el permafrost	36
Figura 25.	Propagación lateral daños. La fotografía muestra la zona de Puget Sound, en Washington, EE.UU., después de que el terremoto Nisqually de 2001	38
Figura 26.	Deslizamientos de tierra de Los Mameyes, Puerto Rico, de 1985	40
Figura 27.	Daños inducidos por un terremoto a una casa construida sobre un terraplén artificial, después del terremoto de 2004 en la Prefectura de Niigata en Japón	41
Figura 28.	El lado del volcán Casita en Nicaragua, Centro América, se derrumbó el 30 de octubre de 1998, día de la precipitación máxima cuando el huracán Mitch pasó por toda Centroamérica	42
Figura 29.	Un deslizamiento de tierras en la Carretera Panamericana en El Salvador, América Central, cerca del pueblo de San Vicente, en 2001. (Fotografía de Ed Harp, Servicio Geológico de los Estados Unidos.)	45
Figura 30.	El volcán activo Monte Shasta en California, EE.UU.	47
Figura 31.	Vista hacia abajo del Río Malo (que fluye de abajo a la izquierda) y el Río Coca, al noreste del Ecuador, en América del Sur	48
Figura 32.	El derrumbe Slumgullion, Colorado, EE.UU.	49
Figura 33.	Un ejemplo de un caso de riesgos múltiples	51
Figura 34.	El caso de riesgos múltiples en Tanaguarena, en la costa de Venezuela, América del Sur, de 1999	52
Figura 35.	Esta es una fotografía que muestra las secuelas de un fenómeno de peligros múltiples	52
Figura 36.	Grietas en la tierra	55
Figura 37.	Una acera se aleja de la casa	55
Figura 38.	Ruidos en las bases de una estructura	56
Figura 39.	Ejemplo de un aviso de peligro de caída de roca	62
Figura 40.	Aviso de los peligros de los acantilados, ciudad de Wanneroo, Australia	62
Figura 41.	Aviso en una carretera en Virginia, EE.UU.	62
Figura 42.	El derrumbe Thistle en Utah, EE.UU.	66
Figura 43.	El gran terremoto que sacudió China el 12 de mayo de 2008 causó grandes daños en la región montañosa de Beichuan	67
Figura A1.	Partes de um deslizamiento de terra	68
Figura B1.	Ejemplo de un mapa de inventario de deslizamientos que muestra las localizaciones de los deslizamientos del pasado con información topográfica que consiste en la elevación (en metros) y los cursos de drenaje	84

Figura B2.	Un ejemplo de un mapa de susceptibilidad a deslizamientos	85
Figura B3.	Parte del mapa de riesgo de deslizamientos superficiales que muestra parte de la zona Magnolia de la ciudad de Seattle, Estado de Washington, Estados Unidos,	86
Figura B4.	Ejemplo de una fotografía aérea del deslizamiento de La Conchita, en California, EE.UU., realizada en 2005	88
Figura B5.	Esquema que muestran los pases del satélite por una zona de la superficie de la Tierra	89
Figura B6.	Interferograma del proceso de imagen InSAR que muestra el área de levantamiento (1997-2001) de los volcanes Tres Hermanas (triángulos rojos) en la Cordillera de las Cascadas en el centro de Oregon, EE.UU.	90
Figura B7.	Una imagen de LiDAR oblicua de los deslizamientos de tierra de La Conchita, California, EE.UU., realizada en 2005	91
Figura B8.	Medición del movimiento de los deslizamientos utilizando un extensómetro, un instrumento que puede detectar el movimiento de la superficie del suelo entre el suelo estable y el deslizamiento de tierra	92
Figura B9.	Prueba de un sistema de radiotelemetría accionado por energía solar para la transmisión a distancia de datos sobre deslizamientos de tierra en tiempo real	92
Figura B10.	Ejemplo de una red para la medición y transmisión de datos sobre deslizamientos de tierra en tiempo real. (Esquema del Servicio Geológico de los Estados Unidos)	92
Figura C1.	Ilustración de las diferencias de estabilidad que produce la excavación en las superficies de la cabeza y la base de una pendiente	95
Figura C2.	Ilustración de la diferencia en la estabilidad de la carga en la cabeza o en el pie de una ladera	95
Figura C3.	Ilustración de la importancia del agua en la estabilidad de una ladera	96
Figura C4.	Esquema y fotografía de un relleno ligero	97
Figura C5.	Esquema y fotografía de un contrafuerte de escollera en Canadá	100
Figura C6.	Ejemplo de revestimiento del canal del arroyo con rocas, Dickson Creek, Montana, EE.UU.	101
Figura C7.	Esquema y fotografía de una presa de contención con muro de armazón, que es un tipo de presa de contención	103
Figura C8.	Vista aguas arriba de la presa de contención de armazón de hormigón con sección central de bajo flujo en el sur de California, EE.UU.	104
Figura C9.	Esquema y fotografía de una zanja de drenaje	106
Figura C10.	Esquema de las tuberías de desagüe	108

Figura C11.	Cilindros de paja en el lado de una carretera capturan el sedimento y lo mantienen en su sitio, permitiendo que las semillas puedan establecerse y germinar, ayudando así al proceso de restablecimiento de la vegetación	109
Figura C12.	Las pacas de paja tienen una aplicación similar y son fáciles de obtener	109
Figura C13.	Esquema y fotografía de una armazón de madera	111
Figura C14.	Esquema y fotografía de una pared de cajón de acero	112
Figura C15.	Esquema y fotografía de un muro de tierra reforzada	113
Figura C16.	Esquema y fotografía de un muro de gaviones a lo largo de una carretera. (Esquema tomado de la referencia 11.)	115
Figura C17.	Un muro de pilotes relleno de hormigón	116
Figura C18.	Un sistema de pasto vetiver se utiliza en la República Democrática del Congo para el control de surcos en las zonas urbanas y para la estabilización de carreteras	120
Figura C19.	Distribución mundial de los programas activos de pasto vetiver	121
Figura C20.	Esta fotografía muestra las medidas contra la caída de rocas que incluyen muros de contención de masas de hormigón, muros de gaviones (ambos tipos de pared están en la parte superior de la fotografía), vallas de contención, tratamientos de las rocas y refuerzos	122
Figura C21.	Ejemplo de malla de alambre colocada sobre una ladera rocosa de contener las rocas que pueden derrumbarse	124
Figura C22.	Barrera de roca de protección a lo largo de (A) un sendero de tierra en Pennsylvania, EE.UU., y B) una carretera en la costa de California, EE.UU.	124
Figura C23.	Ejemplo de una "cortina de roca" que controla la caída de rocas en zonas con problemas	125
Figura C24.	Albergues contra rocas Pitquah, Columbia Británica, Canadá	126
Figura C25.	Ejemplo de cobertizo abierto contra rocas en Nueva Zelanda	127
Figura C26.	Un refugio contra aludes de rocas en la zona Montagnard de Francia	127
Figura C27.	Ejemplo de una cornisa de roca reforzada, Chapmans Peak Drive, Ciudad del Cabo, Sudáfrica	127
Figura C28.	Esquema y fotografía de bancos de roca	128
Figura C29.	Rocas desplazadas por raspado y voladura	129
Figura C30.	Un martillo hidráulico de roca en acción, bajando la roca de la ladera	130
Figura C31.	Operación de hormigón lanzado para estabilizar la zona de caída de rocas del Paso Wolf Creek en las Montañas Rocosas de Colorado, Estados Unidos.	131
Figura C32.	Fotografía de primer plano de un anclaje de roca en una pared de roca, con una malla sobre la superficie para ofrecer más protección	132

Figura C33.	Una operación de empernado de roca; observe la roca rota (desmoronada)	132
Figura C34.	Laderas quemadas por incendios forestales y la corriente de escombros que se produjo poco después del incendio de Lytle Creek, California, EE.UU.	133
Figura C35.	Fotografía aérea de una cuenca de escombros construida en la base de una pendiente en San Bernardino, California, EE.UU.	135
Figura C36.	Se debe tener precaución en la localización y la construcción de muros de contención de la corriente de escombros	136
Figura C37.	Un muro de contención de la corriente de escombros en la Cuenca de Kamikochi, Japón	136
Figura C38.	Esquema de una casa sin protección, en el trayecto de un flujo de escombros y (o) “alud de lodo”	137
Figura C39.	Ejemplo esquemático de una casa dotada de estructuras de protección	137
Figura C40.	Esquema de materiales típicos, que se consiguen en muchas regiones del mundo, para ayudar a reducir los daños causados por las inundaciones / corrientes de escombros fuertes	138
Figura C41.	Los sacos de arena sirven básicamente para proteger contra corrientes bajas de hasta 0,6 metros (2 pies)	138
Figura C42.	Esquema típico para la colocación de sacos de arena para la protección de las casas (la distribución y la orientación pueden variar según las situaciones individuales)	140
Figura C43.	Los sacos de arena para ayudar a desviar los escombros de los edificios	140
Figura C44.	Control de las corrientes de escombros después de una tormenta en las calles con sacos de aren	141
Figura C45.	Desvío de la corriente entre los edificios mediante el uso de sacos de arena	141
Figura C46.	Sellado de puerta corrediza de vidrio - Control de las corrientes para evitar que se filtren por la puerta corrediza de vidrio mediante el uso de bolsas de arena y láminas de plástico	142
Figura C47.	Protección típica de ventanas y puertas usando madera desmontable	143
Figura C48.	Clavado de madera contrachapada o madera para la protección de ventanas y puertas	143
Figura C49.	Deflector de madera, que es más permanente que los sacos de arena	144
Figura C50.	Primer plano esquemático de técnica de instalación de un deflector de madera	144
Figura C51.	Una alternativa de los deflectores de la madera – secciones de poste de teléfono o durmientes de ferrocarril	145

Figura C52.	Barrera de camino de entrada desmontable	145
Figura C53.	El derrumbe Thistle en Utah, EE.UU., 1983	149
Figura C54.	Primer plano de las medidas de mitigación adoptadas para reducir el impacto del dique contra deslizamientos Thistle, que muestra el túnel para el río y el túnel de desvío de desbordamiento	150
Figura C55.	Fotografía con anotaciones que muestra la reactivación y ampliación del dique contra deslizamientos Thistle	150

Cómo leer esta guía

Esta guía consta de tres secciones principales con una amplia serie de anexos y un índice. Este estilo proporciona la mayor flexibilidad para distintos usuarios con considerables diferencias de interés y nivel de detalle. Mucha de la información detallada y ampliada se puede encontrar en los apéndices, incluso un Glosario de términos sobre deslizamientos. Las referencias ofrecen más información.

Tenga en cuenta:

- Para facilitar la lectura, las referencias están numeradas en el extremo de las secciones y no se han incorporado dentro del texto. El usuario también puede comunicarse con el Servicio Geológico de los Estados Unidos o el Servicio Geológico del Canadá para obtener orientación y ayuda.
- Los sitios Web se utilizan como referencia para este libro. Sin embargo, las direcciones de sitios Web (URL) pueden cambiar con el tiempo y los enlaces de Internet que figuran en esta publicación puede estar inactivo o ser erróneos. Se sugiere que los usuarios consulten un motor de búsqueda de palabras clave basado en la Web si el enlace ya no está accesible.

El derrumbe Donghekou, causado por el terremoto de Wenchuan de mayo de 2008 en el Condado de Sichuan, China. Este gran deslizamiento de tierra enterró a cientos de personas e hizo que se formara una presa de derrumbe en el río He Dong. Fotografía de Lynn Highland, Servicio Geológico de los Estados Unidos.



Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes

Por Lynn M. Highland, Servicio Geológico de los Estados Unidos, y Peter Bobrowsky, Servicio Geológico del Canadá

Introducción

Este manual pretende ser un recurso para que las personas afectadas por deslizamientos de tierra adquieran nuevos conocimientos, especialmente sobre las condiciones que son únicas a sus vecindarios y comunidades. Existe extensa literatura e investigaciones disponibles sobre deslizamientos de tierra, pero por desgracia muy poco de este material se ha sintetizado e integrado para abordar las condiciones geológicas y climatológicas que son únicas a cada región desde el punto de vista geográfico. Los deslizamientos de tierra ocurren en todo el mundo, en todas las condiciones climáticas y en todo tipo de terrenos, produciendo miles de millones de pérdidas monetarias, y causando miles de muertos y heridos cada año. A menudo causan perturbaciones económicas en largo plazo, desplazamiento de la población y efectos negativos sobre el medio ambiente.

Políticas de uso de la tierra anticuadas no reflejan una planificación óptima del uso de tierras vulnerables a deslizamientos. Las razones de estas políticas de uso de tierras deficientes o inexistentes, que minimizan los peligros geológicos y los daños potenciales, son muchas y abarcan dimensiones políticas, culturales, financieras y las características propias de las comunidades. Los deslizamientos de tierra a menudo se caracterizan como problemas locales, pero sus efectos y los costos con frecuencia atraviesan jurisdicciones y pueden convertirse en problemas estatales, departamentales o nacionales.

El aumento de la población puede estar limitado en su expansión geográfica, salvo cuando ocupa zonas inestables, empinadas y remotas. A menudo la estabilización de las zonas con huellas de deslizamientos es demasiado costosa y algunos habitantes no tienen otro lugar para reasentarse. Afortunadamente, se pueden adoptar precauciones y medidas simples, “de baja tecnología”, al menos para garantizar la seguridad inmediata de la población. Este manual ofrece una breve explicación de muchas de estas opciones. Sugerimos recurrir, siempre que sea posible, a la asistencia de ingenieros o geólogos profesionales o personas con experiencia en la mitigación de laderas inestables ser antes de actuar. Este manual ayuda a los propietarios de viviendas, a la comunidad, a las autoridades encargadas del manejo de emergencias y a los responsables políticos a tomar medidas positivas para crear conciencia acerca de las opciones disponibles y el recurso en lo que respecta a los riesgos de deslizamientos.

Ofrecemos una lista de referencias, disponibles en forma impresa o en la Web (Internet), que pueden utilizarse para adquirir conocimientos acerca de los deslizamientos. Recomendamos este manual para los directivos y tomadores de decisiones en las comunidades con la esperanza de que la información se difundirá a esos funcionarios a otros miembros de esas comunidades. En respuesta a los distintos niveles de alfabetización en todo el mundo, hemos hecho hincapié en la información visual a través de la utilización de fotografías y gráficos. Tenemos la intención de traducir el manual a otros idiomas mientras el financiamiento lo permita para facilitar aún más su uso.

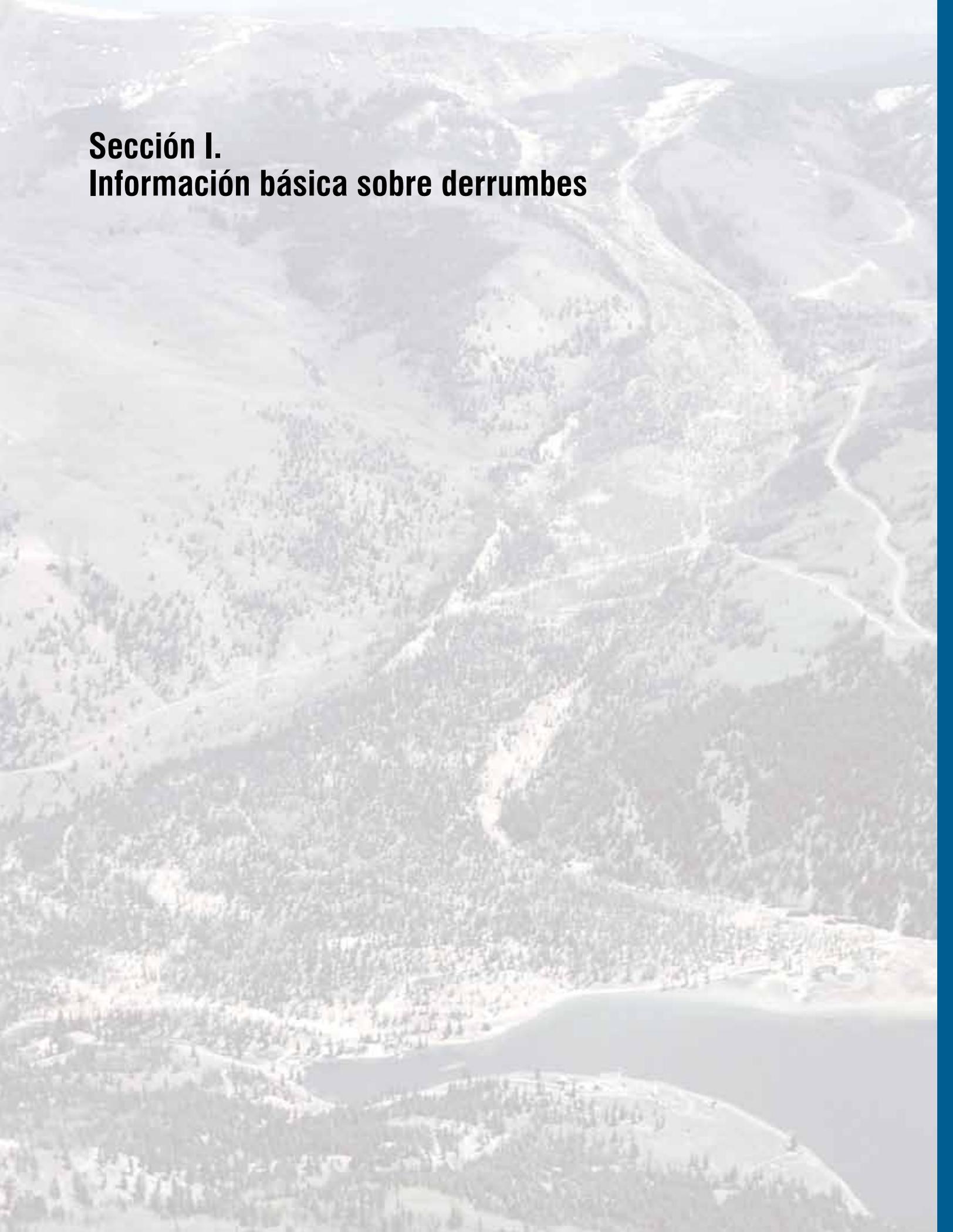
Agradeceremos sus comentarios y críticas y hemos proporcionado información para que puedan ponerse en contacto con nosotros y los nombres y direcciones de nuestros respectivos organismos.

Para obtener más información

Si tiene preguntas sobre el contenido de este libro o asuntos relativos a deslizamientos de tierra, tenga en cuenta que el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) Centro de Información Nacional sobre Derrumbes (NLIC), en Golden, Colorado, EE.UU., es un recurso para responder a preguntas, ayudar con la interpretación, o a los usuarios de este libro de otra manera apoyar con información adicional. Por favor, póngase en contacto con el centro por teléfono, correo electrónico o por escrito.

United States Geological Survey (Servicio Geológico de Estados Unidos)
Landslide Program and National Landslide Information Center (Programa de Deslizamientos y Centro Nacional de Información sobre Deslizamientos)
Mail Stop 966, Box 25046, Denver Federal Center
Denver, Colorado, 80225 USA
Dirección web: <http://landslides.usgs.gov/>
Teléfono: 1-800-654-4966 ou 1-303-273-8586
Highland@usgs.gov

Geological Survey of Canada (Servicio Geológico de Canadá)
Landslides and Geotechnic Section (Sección de deslizamientos de tierra y Geotecnia)
601 Booth Street
Ottawa, Ontario, Canadá KIA 0E8.
Dirección web: http://gsc.nrcan.gc.ca/landslides/index_e.php
Teléfono: 1-613-947-0333
pbobrows@nrcan-rncan.gc.ca

An aerial photograph of a mountainous region. The terrain is rugged with numerous ridges and valleys. A prominent river winds through the landscape, starting from the upper right and flowing towards the bottom center. The lower portions of the mountains are densely forested with evergreen trees. The overall color palette is muted, with various shades of brown, tan, and green. The text is overlaid in the top left corner.

Sección I.

Información básica sobre derrumbes

Parte A. ¿Qué es un derrumbe?

Los geólogos, ingenieros y otros profesionales a menudo se basan en definiciones particulares y levemente diferentes de los deslizamientos de tierra o derrumbes. Esta diversidad en las definiciones refleja la naturaleza compleja de las muchas disciplinas relacionadas con el estudio de los deslizamientos. Para nuestros propósitos, deslizamiento de tierras es un término general utilizado para describir el movimiento descendente de suelo, rocas y materiales orgánicos bajo el efecto de la gravedad, y también la forma del terreno que resulta de ese movimiento (véase en la figura 1 un ejemplo de un tipo de deslizamiento de tierra).

Diferentes clasificaciones de los deslizamientos están asociadas con la mecánica específica de fallas de las pendientes y las propiedades y características de los tipos de fallas; éstas se analizarán brevemente aquí.

Hay varias otras frases y términos que se usan de manera intercambiable con el término “deslizamiento”, incluidos derrumbes, movimientos de masas, fallas de la pendiente, y así sucesivamente. Comúnmente tales términos se aplican a todos los tipos y tamaños de deslizamientos de tierra.

Independientemente de la definición exacta utilizada o del tipo de deslizamiento de tierra en cuestión, es útil comprender las partes básicas de un deslizamiento de tierra típico. La figura 2 muestra la posición y los términos más comunes utilizados para describir las partes de un deslizamiento de tierra. Estos términos y otras palabras relevantes se definen en el Glosario de Términos deslizamientos incluidas en el Apéndice A.



Figura 1. Este deslizamiento de tierra ocurrido en La Conchita, California, EE.UU., en 2005. Diez personas perdieron la vida. (Fotografía por Mark Reid, Servicio Geológico de los Estados Unidos.)

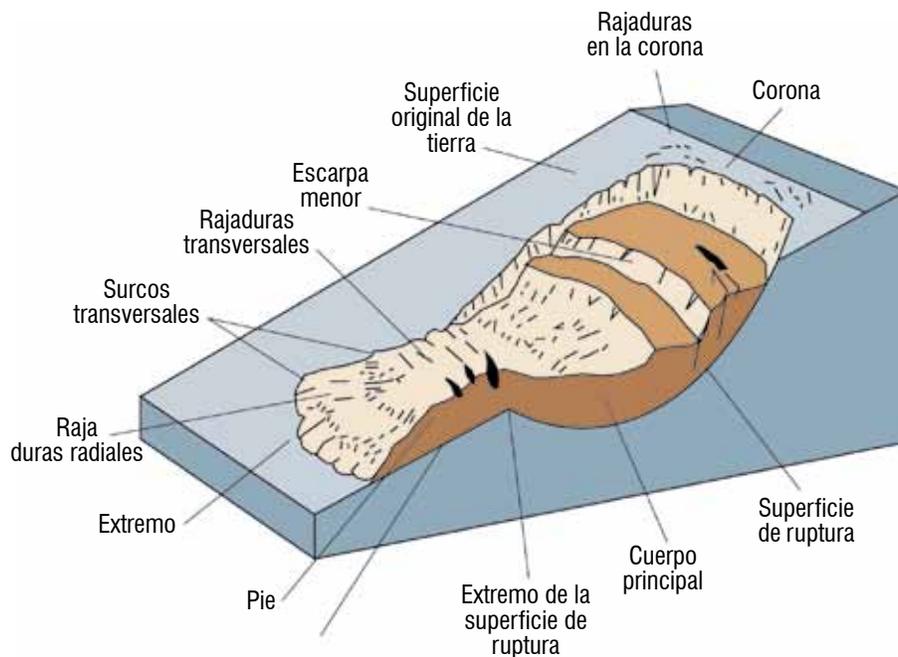


Figura 2. Una ilustración simple de un deslizamiento rotacional que se ha convertido en una corriente de tierra. La imagen ilustra las etiquetas de uso general para las partes de un deslizamiento de tierra (tomado de Varnes, 1978, Referencia 43).

Parte B. Tipos Básicos de Deslizamientos

Un derrumbe es un movimiento descendente de roca o suelo, o ambos, que ocurre en la superficie de ruptura, curva (deslizamientos de rotación) o plana (deslizamiento de traslación), en el que gran parte del material se mueve a menudo como una masa cohesionada o semi-cohesionada con poca deformación interna. Cabe señalar que, en algunos casos, en los deslizamientos de tierra también pueden intervenir otros tipos de movimiento, ya sea en el inicio de la falla o después, si las propiedades cambian a medida que el material desplazado se mueve hacia abajo.

En esta sección se incluyen descripciones e ilustraciones de los diferentes tipos de deslizamientos de tierra. Es de vital importancia comprender las características del tipo específico de amenaza de deslizamiento presentes en su área para la planificación o la adopción de medidas adecuadas de mitigación para disminuir el riesgo de pérdidas y daños. El tipo de deslizamientos determinará la posible velocidad del movimiento, el volumen probable del desplazamiento, la distancia a la que terminará, así como los posibles efectos del derrumbe y las medidas de mitigación apropiadas que deben plantearse.

Los deslizamientos de tierra se pueden clasificar en diferentes tipos en función del tipo de ambiente se mueven y el tipo de material en cuestión (ver referencias 9 y 39). En resumen, la masa del material en un deslizamiento de tierra es roca o tierra (o ambos). Esta última se describe como tierra si se compone principalmente por partículas del tamaño de la arena o más finas y como escombros si está compuesta de fragmentos gruesos. El tipo de movimiento describe la mecánica interna real de cómo se desplaza la masa del deslizamiento: caída,

derribo, deslizamiento, expansión o corriente. Por lo tanto, los deslizamientos de tierra se describen mediante dos términos que se refieren respectivamente a los materiales y el movimiento (es decir, caída de rocas, corriente de escombros, etc.). Los deslizamientos de tierra también puede formar una falla compleja que comprende más de un tipo de movimiento (es decir, caída de rocas, corriente de escombros, etc.).

A los efectos de este manual tratamos el término “tipo de movimiento” como sinónimo de “tipo de deslizamiento de tierra.” Cada tipo de movimiento se puede subdividir de acuerdo a las propiedades y características específicas, y las categorías secundarias principales de cada tipo se describen en otra parte. Las categorías secundarias menos comunes no se tratan en este manual, pero se hace referencia a ellas en la fuente de las referencias.

En el cuerpo de este manual se evitan las citas directas y la identificación de fuentes y referencias para el texto, pero todos los materiales de base se reconocen debidamente y figuran en las listas de referencias que se acompañan.

Caídas

Una caída comienza con un desprendimiento de suelo o roca, o ambos, en una pendiente pronunciada a lo largo de una superficie sobre la que se ha producido poco o nada de desplazamiento de rotura. El material posteriormente desciende principalmente por la caída, rebotando o rodando.

Desprendimientos de roca

Los desprendimientos son movimientos descendientes bruscos de roca o tierra, o ambos, que se desprenden de laderas empinadas o acantilados. El material que cae suele golpear el talud inferior en un ángulo menor que el ángulo de caída, lo que hace que rebote. La masa que cae se puede romper en el impacto, puede empezar a rodar en las pendientes más pronunciadas, y puede continuar hasta que el terreno se aplana.

Incidencia y tamaño / rango relativo

En todo el mundo son comunes en laderas empinadas o verticales, así como en las zonas costeras y a lo largo de las playas rocosas de ríos y arroyos. El volumen de material de una caída puede variar sustancialmente, desde rocas individuales o terrones de tierra hasta grandes bloques de miles de metros cúbicos de tamaño.

La velocidad de desplazamiento

Caída libre muy rápida o extremadamente rápida; tierra desprendida que rebota y rueda, rocas y cantos rodados. La velocidad de ruedo depende de inclinación de la pendiente.

Mecanismo gatillador

El socavamiento de la pendiente por procesos naturales tales como arroyos y ríos o intemperización diferencial (tales como la congelación / descongelación), actividades humanas tales como la excavación y la construcción o mantenimiento de carreteras, temblores de tierra, terremotos u otras vibraciones intensas.

Efectos (directos o indirectos)

El material que cae puede ser potencialmente mortal. Las caídas pueden causar daños a la propiedad por debajo de la línea de caída de grandes rocas. Los cantos rodados pueden rebotar o rodar a grandes distancias y dañar estructuras o matar personas. Los daños a las carreteras y los ferrocarriles son particularmente elevados: los desprendimientos de rocas puede causar muertes en los vehículos afectados por las rocas y pueden bloquear las carreteras y las vías férreas.

Medidas correctivas / mitigación

Se pueden utilizar cortinas de rocas u otras cubiertas de las laderas, cubiertas de protección sobre los caminos, muros de contención que impidan la rodadura o el rebote, la voladura con explosivos de las zonas de peligro para eliminar la fuente, la remoción de rocas u otros materiales de las carreteras y los ferrocarriles. Los pernos de roca u otros tipos similares de anclaje utilizados para estabilizar los acantilados, así como el raspado, pueden disminuir el riesgo. Se recomienda colocar carteles de advertencia en regiones peligrosas para información del público. Se deberá advertir que no se debe parar o estacionar debajo de los acantilados peligrosos.

Previsibilidad

La cartografía de las zonas de caída de rocas peligrosas se ha completado en algunas regiones alrededor del mundo. También se han hecho cálculos del rebote de rocas y se han determinado métodos de estimación para delimitar el perímetro de las zonas de caída de rocas y la información ha gozado de amplia difusión internacional. Los indicadores de caída de rocas inminente incluyen terrenos con rocas o salientes o rocas fracturadas unida a lo largo de pendientes pronunciadas, en particular en las zonas sometidas a ciclos frecuentes de congelación y descongelación. Además, las caras de corte de las graveras pueden estar particularmente expuestas a las caídas. Las Figuras 3 y 4 muestran un esquema y una imagen de caída de rocas.

*Para obtener más información:
Referencias 9, 39, 43 y 45*

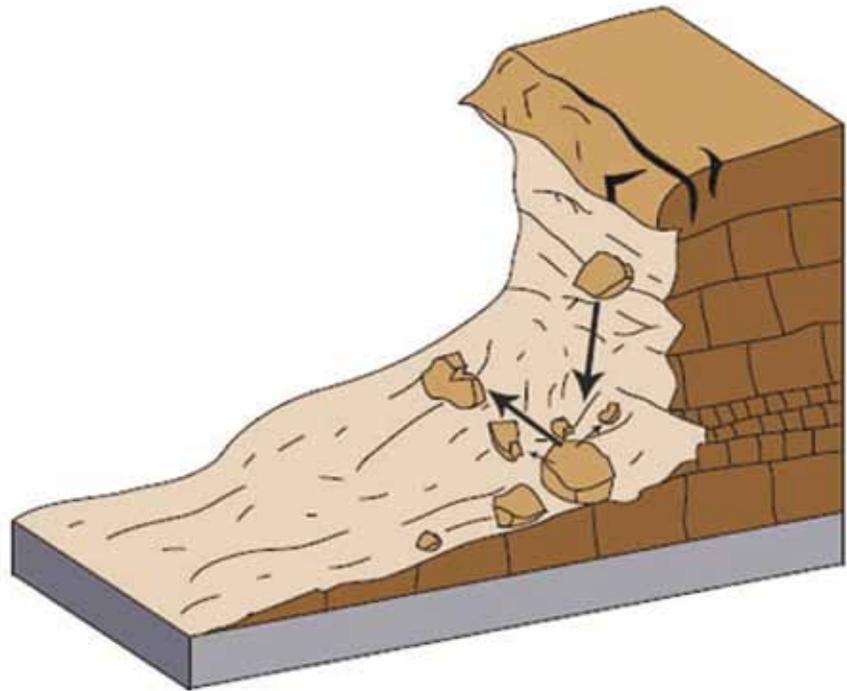


Figura 3. Esquema de un desprendimiento de rocas. (Esquema modificado de la referencia 9).



Figura 4. Un desprendimiento / deslizamiento de rocas que se produjo en el cañón Clear Creek, Colorado, EE.UU., en 2005, cerró el cañón al tráfico durante varias semanas. La fotografía también muestra un ejemplo de una cortina de roca, una barrera comúnmente aplicada sobre las caras peligrosas de las rocas (centro a la derecha de la fotografía). (Fotografía del Servicio Geológico de Colorado).

Derribo

Un derribo es la rotación hacia adelante de una masa de suelo o roca que se desprende de la ladera alrededor de un punto o *eje* por debajo del *centro de gravedad* de la masa desplazada. A veces el derribo es impulsado por la gravedad ejercida por el peso del material que se encuentra pendiente arriba de la masa desplazada. A veces el derribo se debe a agua o hielo en grietas en la masa. El derribo puede consistir de roca, escombros (material grueso), o tierra (material de grano fino). Los derribos pueden ser complejos y compuestos.

Incidencia

Se sabe que ocurren a nivel mundial; son frecuentes en tierras volcánicas con juntas columnares, así como a lo largo de arroyos y cauces de los ríos con riberas muy empinadas.

Velocidad de desplazamiento

Puede ir de extremadamente lenta a extremadamente rápida. A veces hay aceleración durante todo el movimiento dependiendo de la distancia del desplazamiento.

Mecanismo gatillador

A veces, impulsado por la gravedad ejercida por material que se encuentre pendiente de subida de la masa de desplazados y, a veces por el agua o hielo en las grietas que ocurren dentro de la masa, también, la vibración, socavando, erosión diferencial, la excavación, o la erosión del arroyo.

Efectos (directos o indirectos)

Pueden ser extremadamente destructivos, especialmente cuando la falla es repentina y (o) la velocidad es rápida.

Medidas correctivas / mitigación

En la roca hay muchas opciones para la estabilización de las zonas propensas a caerse. Algunos ejemplos de refuerzos de estas pendientes son pernos de roca y anclajes mecánicos y de otros tipos. La filtración es también un factor que contribuye a la inestabilidad de roca y se debe considerar y abordar el drenaje como un medio de corrección.

Previsibilidad

No se ha clasificado la susceptibilidad. Existen algunos inventarios de incidencia en ciertas regiones. Es útil el control de las zonas propensas a caerse, por ejemplo mediante el uso de inclinómetros. Los inclinómetros se utilizan para registrar los cambios en la inclinación de las laderas, cerca de grietas y regiones de mayor movimiento vertical. Los sistemas de alerta basados en el movimiento medido por inclinómetros podrían ser eficaces. En las figuras 5 y 6 se muestra un esquema y una imagen de un derribo.

*Para obtener más información:
Referencias 9, 39, 43 y 45.*

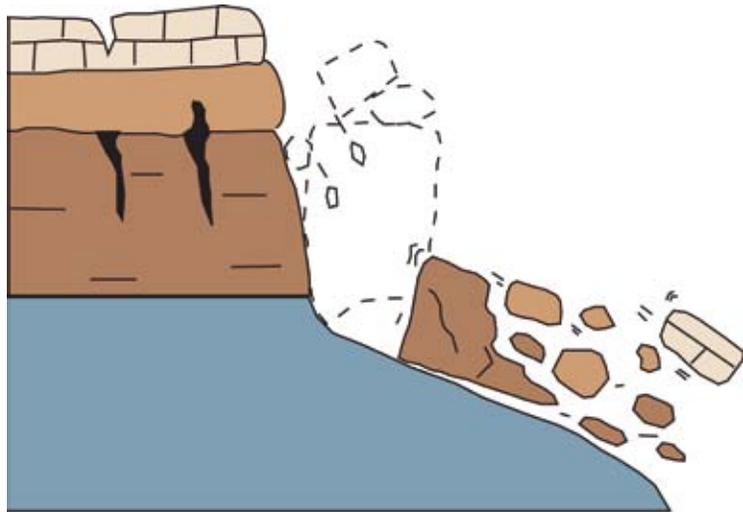


Figura 5. Esquema de un derribo. (Esquema tomado de la referencia 9).



Figura 6. Fotografía de bloque de derribo en Fort St. John, Columbia Británica, Canadá. (Fotografía de G. Bianchi Fasani.)

Deslizamientos

Un deslizamiento es un movimiento pendiente abajo de una masa de tierra o roca que se produce en superficies de rotura o en zonas relativamente delgadas de intensa deformación de corte. Inicialmente, los movimientos no se producen simultáneamente en el conjunto de lo que finalmente se convierte en la superficie de rotura; el volumen del material desplazado aumenta desde una zona de falla local.

Derrumbe rotacional

Éste es un deslizamiento de tierra en el que la superficie de rotura se curva hacia arriba (en forma de cuchara) y el movimiento del deslizamiento es más o menos de rotación alrededor de un eje que es paralelo al contorno de la ladera. En ciertas circunstancias, la masa desplazada puede moverse como una masa relativamente cohesionada a lo largo de la superficie de ruptura con poca deformación interna. La cabeza del material desplazado puede moverse casi verticalmente hacia abajo y la superficie superior del material desplazado puede inclinar hacia atrás hacia la escarpa. Si la rampa es de rotación y tiene varios planos paralelos curvas de movimiento, se le llama depresión.

Incidencia

Debido a que los deslizamientos de rotación se presentan con mayor frecuencia en materiales homogéneos, son los deslizamientos más comunes en los materiales “de relleno”.

Tamaño / rango relativo

Asociado con pendientes que varían entre 20 y 40 grados. En los suelos, la superficie de rotura en general tiene una relación entre profundidad y longitud entre 0,3 y 0,1.

Velocidad de desplazamiento (velocidad de movimiento)

Extremadamente lenta (menos de 0,3 metros o 1 pie cada 5 años) a moderadamente rápida (1,5 metros o 5 metros por mes) a rápida.

Mecanismo gatillador

Lluvias intensas y (o) sostenidas o el deshielo rápido pueden dar lugar a la saturación de las laderas y al aumento de los niveles de aguas subterráneas en la masa; caídas rápidas en el nivel del río después de las inundaciones, aumento de los niveles de agua subterránea como resultado del llenado de los depósitos, o el aumento del nivel de los arroyos, lagos y ríos, causan erosión en la base de las laderas. Estos tipos de deslizamientos también pueden ser inducidos por el terremoto.

Efectos (directos o indirectos)

Pueden ser muy perjudiciales para las estructuras, carreteras, y líneas de vida, pero no suelen ser potencialmente mortales si el movimiento es lento. Las estructuras situadas en la masa en movimiento también pueden verse gravemente dañadas cuando la masa se inclina y se deforma. El gran volumen de material que se desplaza es difícil de estabilizar de forma permanente. Estas fallas pueden dañar los ríos, causando inundaciones.

Medidas de mitigación

Se puede aplicar control instrumental para detectar el movimiento y la velocidad de movimiento. Las vías de drenaje interrumpidas deben ser restituidas o rediseñadas para evitar la acumulación futura de agua en la masa de los deslizamientos. Una clasificación adecuada y la ingeniería de las pendientes, siempre que sea posible, reducirán el riesgo considerablemente. La construcción de muros de contención en la punta puede retrasar o desviar el movimiento de la tierra; sin embargo, los derrumbes que caen por encima de dichas estructuras pueden rebasar tales estructuras de retención a pesar de estar bien construidas.

Previsibilidad

Los deslizamientos históricos se pueden reactivar. Las grietas en los techos (cabezas) de las laderas son buenos indicadores de la iniciación de una falla. Las figuras 7 y 8 muestran un esquema y una imagen de un derrumbe de rotación.

*Para obtener más información:
Referencias 9, 39, 43 y 45*

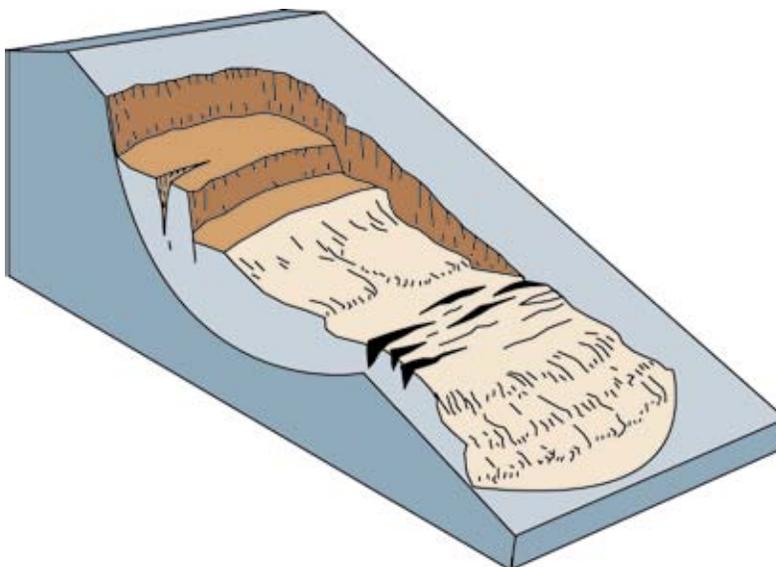


Figura 7. Esquema de un deslizamiento de rotación. (Esquema modificado de referencia 9.)

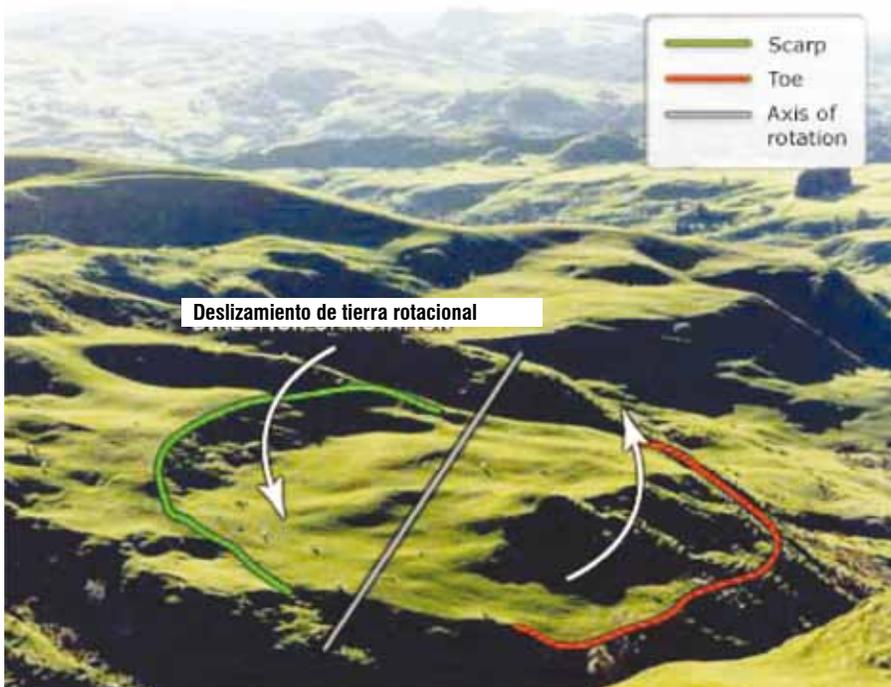


Figura 8. Fotografía de un deslizamiento de tierra de rotación que se produjo en Nueva Zelanda. La curva verde en el centro izquierda se encuentra la rampa (la zona donde el terreno ha fallado). El suelo hummocky en la parte inferior derecha (en la sombra) es el pie del deslizamiento de tierra (línea roja). Esto se llama un deslizamiento de tierra de rotación que la Tierra se mueve de izquierda a derecha en una superficie curva deslizante. La dirección y el eje de rotación también están representados. (Fotografía de J. Michael Crozier, Enciclopedia de Nueva Zelanda, actualizado 21 de septiembre 2007.).

Deslizamiento de traslación

La masa en un derrumbe de traslación se mueve hacia afuera, o hacia abajo y hacia afuera, a lo largo de una superficie relativamente plana con poco movimiento de rotación o inclinación hacia atrás. Este tipo de deslizamiento puede avanzar distancias considerables si la superficie de rotura está lo suficientemente inclinada, a diferencia de los deslizamientos de rotación, que tienden a restablecer el equilibrio de los deslizamientos. El material del deslizamiento puede variar de suelos sueltos, no consolidados, a placas extensas de roca, o ambos. Los deslizamientos de traslación suelen fallar a lo largo de discontinuidades geológicas tales como fallas, juntas, superficies de los lechos o el contacto entre la roca y el suelo. En las regiones septentrionales, el deslizamiento también puede moverse a lo largo de la capa de permafrost.

Incidencia

Uno de los tipos más comunes de deslizamientos de tierra en todo el mundo. Se encuentran a nivel mundial en todo tipo de ambientes y condiciones.

Tamaño / rango relativo

En general, son menos profundos que los deslizamientos de rotación. La superficie de ruptura tiene una relación de distancia a longitud inferior a 0,1 y puede ir desde fallas pequeñas (del tamaño de un lote residencial) a deslizamientos de tierra regionales muy grandes que tienen kilómetros de ancho.

La velocidad de los desplazamientos

El movimiento puede ser lento inicialmente (5 pies por mes o 1,5 metros por mes), pero muchos tienen una velocidad moderada (5 pies por día o 1,5 metros por día) a extremadamente rápida. Al aumentar la velocidad, la masa aplastante de las fallas de traslación puede desintegrarse y convertirse en una corriente de escombros.

Mecanismos disparadores

Son principalmente las lluvias intensas, el aumento en el agua subterránea dentro del deslizamiento debido a las lluvias, el deshielo, las inundaciones o el anegamiento debido al riego, las fugas en los tubos o las perturbaciones causadas por la actividad humana tales como el socavamiento. Este tipo de deslizamientos de tierra puede ser inducido por terremotos.

Efectos (directos o indirectos)

Al principio, los deslizamientos de traslación pueden ser lentos, dañando las propiedades y (o) las comunicaciones; en algunos casos pueden cobrar velocidad y causar la muerte. También pueden formar presas en los ríos, provocando inundaciones.

Medidas de mitigación

Un drenaje adecuado es necesario para evitar que se deslice o, en el caso de una falla existente, para evitar una reactivación del movimiento. Entre las medidas correctivas están la nivelación, la terracería y el drenaje y los muros de contención. Soluciones más sofisticadas en la roca son las anclas, pernos y pasadores, que en todas las situaciones es preferible aplicar a través de profesionales. Los deslizamientos de traslación en pendientes moderadas a fuertes son muy difíciles de estabilizar permanentemente.

Previsibilidad

Existe una alta probabilidad de que ocurran repetidamente en las zonas donde se han producido en el pasado, incluidas las zonas sujetas a frecuentes terremotos fuertes. La ampliación de grietas en la cabeza o protuberancia de la punta puede ser un indicador de falla inminente. Las figuras 9 y 10 muestran un esquema y una imagen de un deslizamiento de tierra de traslación.

*Para obtener más información:
Referencias 9, 39, 43 y 45*

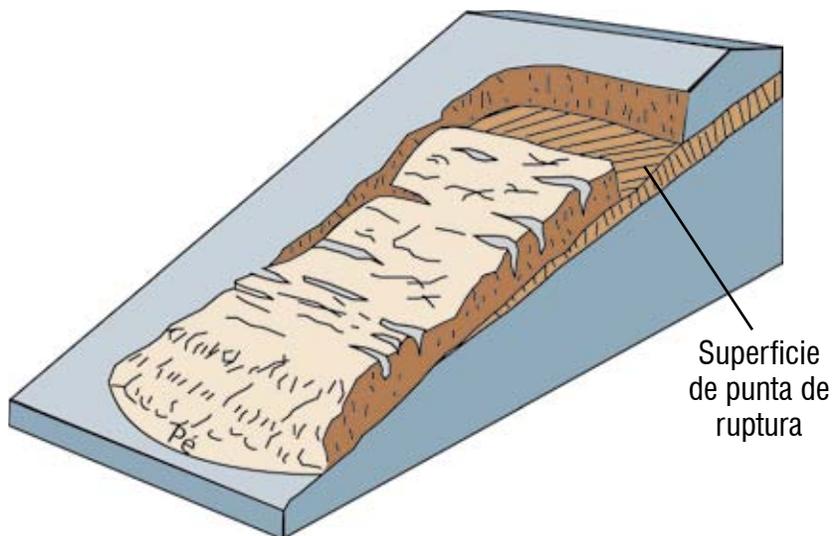


Figura 9. Esquema de un deslizamiento de traslación. (Esquema modificado de referencia 9.)



Figura 10. Un deslizamiento de traslación que se produjo en 2001 en el Valle del Río Beaton, Columbia Británica, Canadá. (Fotografía de Réjean Couture, Servicio Geológico del Canadá).

Extensiones

La extensión de un suelo cohesivo o masa de roca combinada con la subsidencia general de la masa fracturada de material cohesivo en material más blando subyacente. Las extensiones se pueden deber a la licuefacción o corriente (y extrusión) del material subyacente más suave. Entre los tipos de extensiones están los bloques que se extienden, la licuefacción que se amplía y la ampliación lateral.

Extensiones laterales

La extensión lateral suele ocurrir en las pendientes muy suaves o terrenos esencialmente planos, sobre todo cuando una capa superior de roca más fuerte se extiende y se mueve por encima de una base más suave y más débil. Esos casos suelen estar acompañados de algunos hundimientos en general más débiles en la unidad subyacente. En propaga de roca, tierra firme se extiende y fracturas, alejándose lentamente del suelo estable y en movimiento sobre la capa más débil sin que necesariamente se forme de una superficie de ruptura reconocible. La unidad más suave, más débil puede, en determinadas condiciones, apretar hacia arriba en las fracturas que dividen la capa que se extiende en bloques. En las extensiones de tierra, la capa superior se extiende a lo largo de una unidad subyacente más débil que ha fluido después de la licuefacción o deformación plástica. Si la unidad más débil es relativamente gruesa, los bloques fracturados que se encuentran encima puede desaparecer en ella, trasladarse, rotar, desintegrarse, licuarse o incluso fluir.

Incidencia

Existen en todo el mundo y se sabe que se producen donde hay suelos licuables. Son comunes en zonas de actividad sísmica, pero no se limitan a éstas.

Tamaño / rango relativo

El área afectada puede empezar de tamaño pequeño y tener algunas grietas que pueden propagarse rápidamente, afectando zonas de cientos de metros de ancho.

Velocidad de desplazamiento

Puede ser lenta a moderada y a veces rápida después de ciertos mecanismos de disparo, como un terremoto. La tierra puede entonces extenderse lentamente con el tiempo desde unos pocos milímetros por día a decenas de metros cuadrados por día.

Mecanismo disparador

Los desencadenantes que desestabilizan la capa débil incluyen:

- La licuefacción de la capa inferior débil por los efectos de un terremoto
- La sobrecarga natural o antropogénica de la tierra sobre una ladera inestable
- La saturación de la capa subyacente más débil debido a la precipitación, la nieve derretida, y (o) cambios de las aguas subterráneas
- Licuefacción de la arcilla marina sensible subyacente a raíz de una perturbación por erosión en la base de la ribera de un río o pendiente
- Deformación plástica del material inestable profundo (por ejemplo, sal)

Efectos (directos o indirectos)

Puede causar daños materiales a edificios, carreteras, ferrocarriles y líneas de vida. Puede diseminarse lenta o rápidamente, dependiendo del grado de saturación de agua de las diferentes capas de suelo. Si se extiende lateralmente puede ser un precursor de corrientes de tierra.

Medidas de mitigación

Existen mapas del potencial de licuefacción en relación con algunos lugares pero no están ampliamente disponibles. Las regiones con suelos potencialmente licuables se pueden evitar como sitios de construcción, especialmente en las regiones donde se sabe que hay terremotos frecuentes. Si hay altos niveles de agua subterránea, los sitios pueden drenarse o se pueden tomar otras medidas para desviar el agua.

Previsibilidad

Alta probabilidad de que vuelvan a ocurrir en las zonas que han experimentado problemas anteriores. La mayor prevalencia está en las zonas que tienen un peligro extremo de terremotos, así como los suelos licuables. La extensión lateral también está asociada con arcillas marinas sensibles y es un problema común en todas las tierras bajas del San Lorenzo en el este de Canadá. Las figuras 11 y 12 muestran un esquema y una imagen de una extensión lateral.

*Para obtener más información:
Referencias 9, 39, 43 y 45*

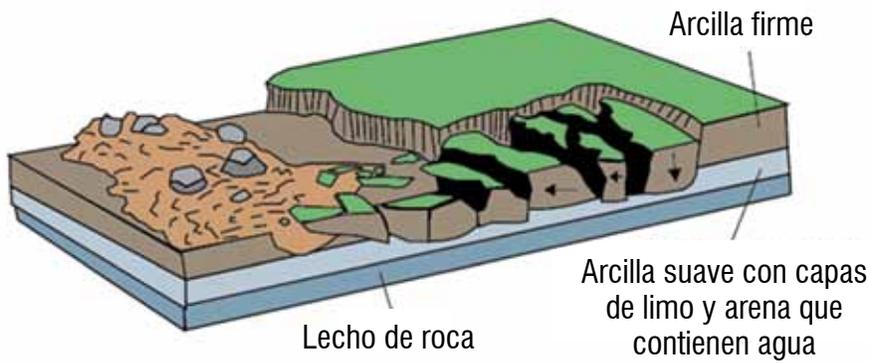


Figura 11. Esquema de una extensión lateral. Una capa licuable está debajo de la capa superficial. (Esquema modificado de la referencia 9.)



Figura 12. Fotografía de los daños causados por una extensión lateral en una carretera como consecuencia del terremoto de Loma Prieta, California, EE.UU., en 1989. (Fotografía de Steve Ellen, Servicio Geológico de los Estados Unidos).

Corrientes

Una corriente es un movimiento espacialmente continuo en el que las superficies de corte son de corta duración, muy próximas entre sí, y por lo general no se conservan. Las velocidades de los componentes de la masa de una corriente que se desplaza se parecen a las de un líquido viscoso. A menudo, hay una gradación de cambio de derrumbes a corrientes, en función del contenido de agua, la movilidad y la evolución del movimiento.

Las corrientes de escombros

Una forma de movimiento de masas rápido en el que la tierra suelta, la roca y la materia orgánica se combinan a veces con agua para formar una pasta que fluye ladera abajo. Han sido llamados de manera informal y errónea “deslaves”, debido a la gran cantidad de material fino que puede estar presente en la corriente. En ocasiones, a medida que un derrumbe de rotación o traslación adquiere velocidad y la masa interna pierde cohesión o admite agua, puede convertirse en una corriente de escombros. Las corrientes secas pueden ocurrir a veces en arena cohesiva (corrientes de arena). Las corrientes de escombros pueden ser mortales, ya que pueden ser extremadamente rápidas y producirse sin previo aviso.

Incidencia

Las corrientes de escombros se producen en todo el mundo y son frecuentes en los barrancos y cañones empinados, ya que pueden intensificarse cuando se producen en las laderas o en barrancos que han sido despojados de vegetación debido a incendios forestales o tala. Son comunes en las regiones volcánicas con suelo débil.

Tamaño / rango relativo

Estos tipos de corrientes pueden ser delgados y aguados o densos, con sedimentos y escombros, y suelen limitarse a las dimensiones de las barrancas empinadas que facilitan su movimiento hacia abajo. En general, el movimiento es relativamente poco profundo y el escurrimiento es a la vez largo y estrecho. A veces se extiende por kilómetros en terreno escarpado. Los escombros y el barro suelen terminar en la base de las laderas y crear depósitos triangulares en forma de abanico, llamados abanicos de escombros, que también pueden ser inestables.

Velocidad de desplazamiento

Puede ser rápido a extremadamente rápido (35 millas por hora o 56 kilómetros por hora) dependiendo de la consistencia y el ángulo de la pendiente.

Mecanismo gatillador

Los flujos de escombros son comúnmente causados por el flujo intenso del agua superficial, debido a fuertes precipitaciones o deshielo rápido, que erosiona y moviliza tierra suelta o roca en las pendientes pronunciadas. Los flujos de escombros también suele movilizar a otros tipos de deslizamientos que se producen en las cuestas empinadas, están casi saturados, y consisten en una gran proporción de material de tamaño de limo y arena.

Efectos (directos/indirectos)

Los flujos de escombros pueden ser letales debido a su rápido inicio, alta velocidad de circulación, y el hecho de que puedan incorporar grandes rocas y otras piezas de escombros. Se pueden mover objetos tan grandes como casas en su flujo cuesta abajo o puede llenar las estructuras con una rápida acumulación de sedimentos y materia orgánica. Pueden afectar a la calidad del agua mediante el depósito de grandes cantidades de sedimentos y escombros.

Medidas de mitigación

Por lo general no se pueden prevenir las corrientes, por lo que las casas no se pueden construir en barrancos con paredes empinadas que tienen un historial de corrientes de escombros o que sean propensos debido a incendios forestales, el tipo de suelo u otros factores relacionados. Las nuevas corrientes alejarse de las estructuras por medio de la desviación, se pueden construir cuencas de arrastre para contener la corriente, y pueden ponerse en efecto sistemas de alerta en las zonas donde se sabe a qué umbrales de lluvia se han producido las corrientes de escombros. Evacuación, prevención y (o) reasentamiento son los mejores métodos para evitar lesiones y pérdida de vidas.

Previsibilidad

Mapas de los peligros potenciales de las corrientes de escombros existen en algunas regiones. Las corrientes de escombros pueden ser frecuentes en cualquier área de fuertes pendientes y lluvias torrenciales, ya sea estacionalmente o de forma intermitente, y especialmente en las zonas donde se ha quemado recientemente la vegetación o se ha eliminada por otros medios. Las figuras 13 y 14 muestran un esquema y una imagen de una corriente de escombros.

*Para lecturas posteriores:
Referências 9, 39, 43 e 45*

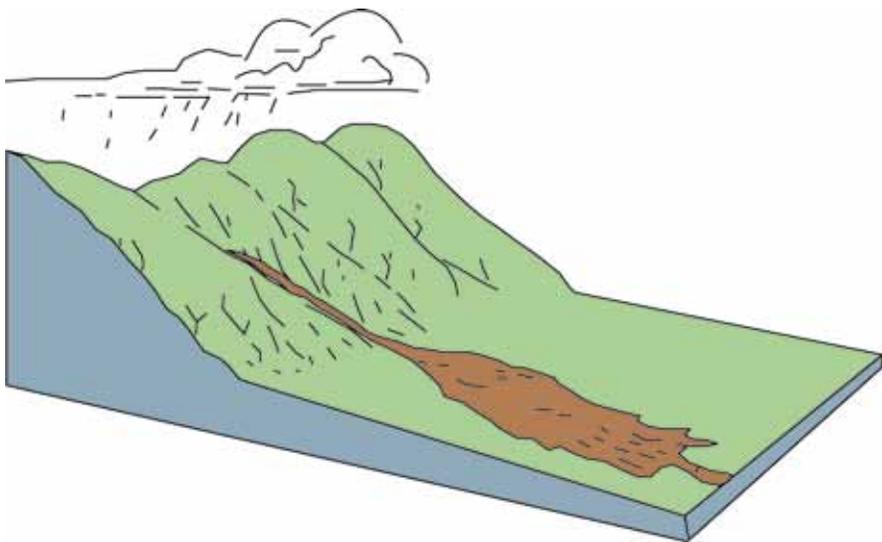


Figura 13. Esquema de una corriente de escombros. (Esquema modificado de la referencia 9).



Figura 14. Los daños producidos por la corriente de escombros a la ciudad de Caraballeda, situada en la base de la Cordillera de la Costa, en la costa norte de Venezuela. En diciembre de 1999, esta zona fue afectada por el peor desastre natural de Venezuela del siglo 20. Varios días de lluvias torrenciales generaron corrientes de lodo, rocas, agua y árboles que mataron a cerca de 30.000 personas. (Fotografía de L.M. Smith, Estación Experimental de Vías Acuáticas, Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos).

Los lahares (corrientes de escombros volcánicos)

La palabra “lahar” es un término indonesio. Los lahares también se conocen como corrientes de lodo volcánico. Estos son corrientes que se originan en las laderas de los volcanes y son un tipo de corriente de escombros. Un lahar moviliza las acumulaciones de tefra suelta (los sólidos suspendidos en el aire procedentes de la erupción del volcán) y otros escombros similares.

Incidencia

Se encuentran en casi todas las zonas volcánicas del mundo.

Tamaño / rango relativo

Los lahares pueden tener cientos de kilómetros o millas cuadradas de superficie y pueden hacerse más grandes a medida que adquieren velocidad y acumulan escombros en su desplazamiento cuesta abajo; o bien, pueden ser de pequeño volumen y afectar regiones limitadas del volcán y luego disiparse ladera abajo.

Velocidad de desplazamiento

Los lahares pueden ser muy rápidos (más de 35 millas por hora o 50 kilómetros por hora), especialmente si se mezclan con fuentes de agua tales como campos de nieve o glaciares que se estén descongelando. Si son viscosos y espesos con escombros y menos agua, el movimiento será lento a moderadamente lento.

Mecanismo disparador

El agua es el principal mecanismo de disparo, y pueden originarse en lagos de cráter, la condensación del vapor en las partículas volcánicas, o el derretimiento de la nieve y el hielo en la parte superior de los volcanes. Algunos de los lahares más grandes y más mortíferos tienen su origen en erupciones o emanaciones volcánicas que de pronto derriten la nieve y el hielo circundantes y causan la licuefacción rápida y el descenso de las corrientes por las empinadas laderas volcánicas a velocidades catastróficas.

Efectos (directos o indirectos)

Los efectos pueden ser muy grandes y devastadores, especialmente cuando los desata una erupción volcánica y el derretimiento rápido de la nieve y el hielo. Pueden enterrar asentamientos humanos ubicados en las laderas del volcán. Algunas corrientes grandes también pueden formar presas en los ríos, causando inundaciones río arriba. El rompimiento posterior de estas presas débilmente cementadas puede causar inundaciones catastróficas aguas abajo. Este tipo de corrimiento de tierras produce a menudo un gran número de víctimas humanas.

Medidas de mitigación

No se conocen medidas correctoras para evitar los daños causados por lahares, excepto evitarlos al no construir o estar a su paso en las laderas de los volcanes. Los sistemas de alerta y evacuación posterior pueden salvar vidas en algunos casos. Sin embargo, los sistemas de alerta requieren una vigilancia activa, y un método fiable de evacuación es esencial.

Previsibilidad

Se pueden elaborar mapas de susceptibilidad basados en los lahares pasados, así como en la estimación de las corrientes de escurrimiento potencial. Estos mapas no están fácilmente disponibles para la mayoría de las regiones peligrosas. Las figuras 15 y 16 muestran un esquema y una imagen de un lahar.

*Para obtener más información:
Referencias 9, 39, 43 y 45*



Figura 15. Esquema de un lahar. (Gráfico del Servicio Geológico de los Estados Unidos.)



Figura 16. Fotografía de un lahar causado por la erupción de 1982 del Monte Saint Helens en Washington, EE.UU. (Fotografía de Tom Casadevall, Servicio Geológico de los Estados Unidos.)

Avalanchas de escombros

Las avalanchas de escombros son esencialmente corrientes grandes, muy rápidas, a menudo de pendiente abierta, que se forman cuando se derrumba un talud inestable y los escombros fragmentados resultantes se transportan lejos de la pendiente. En algunos casos, la nieve y el hielo contribuirán al movimiento si hay suficiente circulación de agua, y la corriente puede llegar a ser una corriente de escombros y (o) un lahar.

Incidencia

Se producen en todo el mundo en terrenos empinados. También son comunes en los volcanes muy pronunciados en los que puedan correr por los surcos de drenaje.

Tamaño / rango relativo

Se ha sabido que algunas grandes avalanchas transportan bloques de material de hasta 3 kilómetros de tamaño, a varios kilómetros de su fuente.

Velocidad de desplazamiento

Rápida a extremadamente rápida; tales avalanchas de escombros pueden viajar cerca de 100 metros / seg.

Mecanismo disparador

En general, los dos tipos de avalanchas de escombros son las que están “frías” y las que están “calientes”. Una avalancha de escombros fría suele ser el resultado de que una pendiente se vuelva inestable, como durante el colapso de las laderas degradadas en terrenos escarpados o debido a la desintegración de lecho de roca durante un deslizamiento de tierra tipo derrumbe a medida que avanza cuesta abajo a gran velocidad. En ese momento, la masa se puede transformar en una avalancha de escombros. Una avalancha de escombros caliente es la que resulta de la actividad volcánica, como terremotos volcánicos o inyección de magma, lo que provoca inestabilidad de las laderas.

Efectos (directos o indirectos)

Las avalanchas de escombros pueden viajar varios kilómetros antes de detenerse, o pueden transformarse en lahares más ricos en agua o corrientes de escombros que viajan decenas de kilómetros aguas abajo. Estas fallas pueden inundar ciudades y aldeas y perjudicar la calidad del arroyo. Se mueven muy rápido y por lo tanto pueden ser mortales porque hay pocas posibilidades de dar la alerta y respuesta.

Medidas correctivas / mitigación

Evitar la construcción en los valles, volcanes o pendientes fuertes de montaña y sistemas de alerta en tiempo real puede disminuir los daños. Sin embargo, los sistemas de alerta pueden resultar difíciles debido a la velocidad a la que se producen las avalanchas de escombros. Puede no haber tiempo suficiente después del inicio del fenómeno para evacuar a las personas. Las avalanchas de escombros no se pueden detener o impedir por medios de ingeniería porque los mecanismos de disparo asociados no se pueden prevenir.

Previsibilidad

Si existen pruebas de avalanchas de escombros previas en un área, y si se puede determinar la fecha de esas pruebas, podría establecerse un período de recurrencia probabilístico. Durante las erupciones volcánicas, las posibilidades de que se produzca una avalancha de escombros son mayores, así que podrían adoptarse medidas de precaución apropiadas. Las figuras 17 y 18 muestran un esquema y una imagen de una avalancha de escombros.

*Para obtener más información
Referencias 9, 39, 43 y 45*

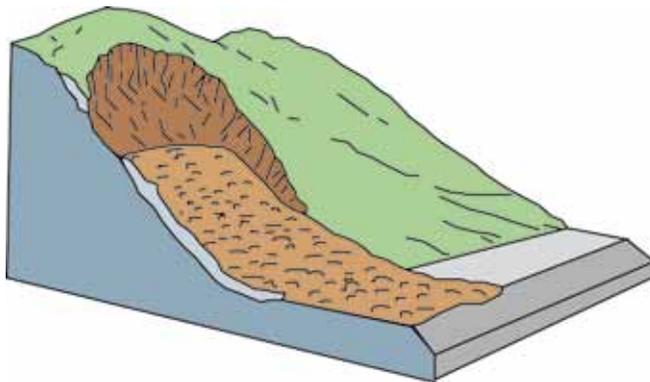


Figura 17. Esquema de una avalancha de escombros. (Esquema modificado de referencia 9.)



Figura 18. Una avalancha de escombros que sepultó la aldea de Guinsaugon, en el sur de Leyte, Filipinas, en febrero de 2006. (Fotografía de la Universidad de Tokio Geotécnica del equipo.) Por favor, véase la figura 30 para una imagen de otra avalancha de escombros.

Corrientes de tierra

Las corrientes de tierra se pueden producir en suaves pendientes moderadas, generalmente en suelos de grano fino, normalmente de barro o limo, pero también en lecho rocoso de barro fértil muy degradado. La masa de una corriente de la tierra se mueve como una corriente plástica o viscosa con fuertes deformaciones internas. Cuando se le altera, la arcilla marina (arcilla rápida) susceptible es muy vulnerable y puede perder toda la fuerza cortante con un cambio en su contenido de humedad natural y licuarse repentinamente, lo que podría destruir grandes regiones y fluir por varios kilómetros. El tamaño suele incrementar debido al retroceso de la cabeza de la escarpa. Los derrumbes o extensiones laterales también pueden evolucionar al bajar por la ladera y convertirse en corrientes de tierra. Las corrientes de tierra pueden variar desde las muy lentas (que avanzan arrastrándose) a las rápidas y catastróficas. Las corrientes muy lentas y de formas especializadas restringidas a ambientes de permafrost del norte se examinan por aparte.

Incidencia

En todo el mundo se producen corrientes de tierra en las regiones donde tierra de grano fino o muy degradada descansa sobre el lecho de roca. Las corrientes de tierra rápidas y catastróficas son comunes en las arcillas marinas sensibles de las tierras bajas del San Lorenzo en América del Norte, la costa de Alaska y Columbia Británica y en Escandinavia.

Tamaño / rango relativo

Las corrientes pueden variar desde pequeños deslizamientos de 100 metros cuadrados de tamaño a grandes deslizamientos que abarcan varios kilómetros cuadrados de superficie. Las corrientes de tierra susceptibles de arcillas marinas pueden correr varios kilómetros. La profundidad de la falla varía de pocos metros a muchas decenas de metros.

Velocidad de desplazamiento

Lenta a muy rápida.

Mecanismos desencadenantes

Los desencadenantes son la saturación del suelo debido a lluvias prolongadas o intensas o deshielos, la reducción repentina de agua las superficies adyacentes causando reducción rápida de la tabla de las aguas subterráneas, la erosión de los cauces en la parte inferior de una pendiente, la excavación y las actividades de construcción, cargas excesivas sobre una pendiente, terremotos o vibraciones inducidas por actividades humanas.

Efectos (directos o indirectos)

Las corrientes de tierras rápidas y regresivas en barro marino susceptible pueden devastar grandes zonas de terreno llano situado encima de la pendiente y también pueden extenderse a distancias considerables, que podrían causar muertes humanas, destrucción de edificios e infraestructuras lineales y formación de presas en los ríos e inundaciones aguas arriba así como problemas de sedimentación río abajo. Corrientes de tierras más lentas pueden dañar propiedades y cortar las infraestructuras lineales.

Medidas correctivas / mitigación

Mejorar el drenaje es una medida correctiva importante, así como la clasificación de las laderas y proteger la base del talud de la erosión o excavación. La resistencia al corte de la arcilla se puede medir y la posible presión se puede controlar en las laderas sospechosas. Sin embargo, la mejor mitigación es evitar actividades cerca de tales laderas.

Previsibilidad

La presencia de corrientes de tierras en el pasado es el mejor indicador de la vulnerabilidad. En algunos casos la distribución de la arcilla con probabilidades de licuefacción puede colocarse en mapas y esto se ha hecho en muchas partes del este de América del Norte. La apertura de grietas en la parte superior de la pendiente puede indicar una falla potencial. Las figuras 19 y 20 muestran un esquema y una imagen de una corriente de tierra.

*Para obtener más información:
Referencias 9, 39, 43 y 45*

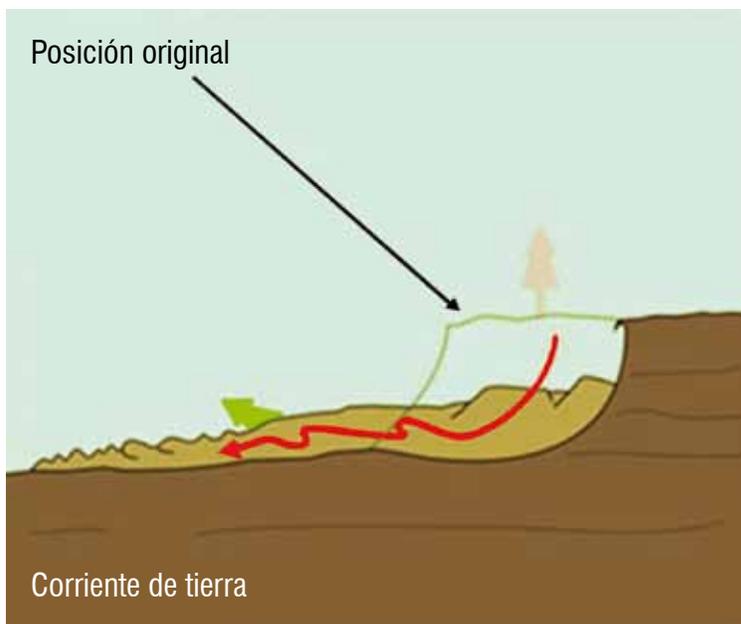


Figura 19. Esquema de una corriente de tierra. (Esquema del Servicio Geológico de Canadá.)



Figura 20. El 1993, el deslizamiento de tierra Lemieux, una corriente de tierra rápida en arcillas marinas vulnerables cerca de Ottawa, Canadá. El declive principal retrocedió 680 metros sobre el suelo plano por encima de la orilla del río. Unos 2,8 millones de toneladas de arcilla y limo se licuaron y confluyeron en el valle del Río South Nation, formando una presa en el río. (Fotografía de G.R. Brooks, Servicio Geológico del Canadá.)

Corrientes de tierra lentas (arrastre)

Arrastre es el nombre informal que se da a una corriente de tierra lenta y consiste en movimiento descendente insensiblemente lento y constante del suelo o roca que forma la pendiente. El movimiento es causado por tensión cortante interna que es suficiente para causar la deformación, pero insuficiente para provocar una falla. En general, los tres tipos de arrastre son: (1) de temporada, cuando el movimiento se da dentro de la profundidad del suelo afectado por los cambios estacionales en la humedad del suelo y la temperatura, (2) continuo, cuando el esfuerzo cortante supera la resistencia continua del material; y (3) progresivo, cuando las pendientes alcanzan el punto de falla para otros tipos de movimientos de masas.

Incidencia

El arrastre se da en todo el mundo y es probablemente el tipo más común de deslizamientos de tierra y a menudo precede a tipos más rápidos y dañinos de deslizamientos de tierra. La solifluxión, una forma especializada de arrastre común en ambientes donde se da el permafrost, se produce en la capa superior de suelos rica del hielo de grano fino durante el deshielo anual de esta capa.

Tamaño / rango relativo

El arrastre puede ser de carácter muy regional (decenas de kilómetros cuadrados) o limitarse a regiones pequeñas. Es difícil discernir los límites del arrastre ya que el fenómeno en sí es tan lento y las características de la superficie que representan una deformación perceptible pueden estar ausentes.

Velocidad de desplazamiento

Muy lento a extremadamente lento. Por lo general, menos de 1 metro (0,3 pies) por década.

Mecanismo disparador

En el caso del arrastre estacional, la precipitación pluvial y el deshielo son los desencadenantes más frecuentes, mientras que otros tipos de arrastre pueden tener causas múltiples, tales como la intemperización química o física, fugas en las tuberías, drenaje deficiente, tipos de construcción desestabilizantes y otros.

Efectos

Debido a que es difícil de detectar en algunos lugares debido a la lentitud del movimiento, el arrastre a veces no se reconoce cuando se evalúa la idoneidad de un sitio para una obra de construcción. El arrastre puede abrir lentamente las tuberías, los edificios, las carreteras, vallas, etc., y puede llevar a fallas más drásticas del suelo que son más destructivas y más rápidas.

Medidas correctivas / mitigación

La mitigación más común del arrastre consiste en asegurar un drenaje adecuado del agua, especialmente para el tipo estacional de arrastre. Se puede intentar modificar la pendiente, por ejemplo allanando o retirando la totalidad o parte de la masa del deslizamiento, así como construyendo muros de contención.

Previsibilidad

Indicada por troncos de árboles curvos, vallas y (o) muros de contención doblados, postes o cercas inclinadas y pequeñas ondulaciones del suelo o crestas en la superficie. La velocidad del arrastre se puede medir por medio de inclinómetros instalados en pozos o mediciones detalladas de la superficie. Las figuras 21 y 22 muestran un esquema y una imagen de un arrastre.

*Para obtener más información:
Referencias 9, 39, 43 y 45*

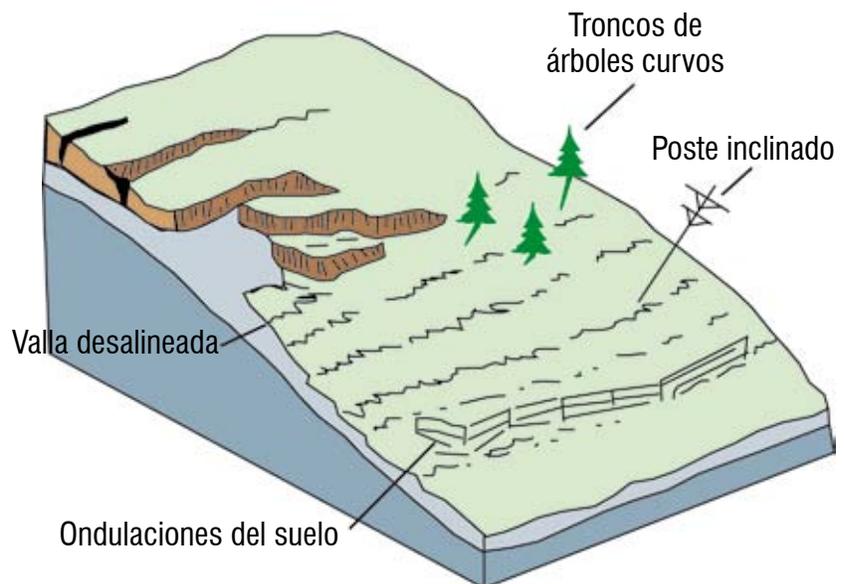


Figura 21. Esquema de una corriente de tierra lenta, a menudo llamada arrastre. (Esquema modificado tomado de la referencia 9.)



Figura 22. Esta fotografía muestra los efectos del arrastre en una zona cerca de East Sussex, Reino Unido, llamado Chalk Grasslands. Las pendientes pronunciadas de tierra fina sobre depósitos de yeso marino crean un patrón estriado de los escalones horizontales cubiertos de hierba de 0,3 a 0,6 metros (1 a 2 pies) de altura. A pesar de que posteriormente se vean más claramente cuando el ganado y las ovejas caminen por ellas, estas terrazas (comúnmente conocidas como senderos de ovejas) se formaron por el movimiento gradual y progresivo del suelo hacia abajo. (Fotografía de Ian Alexander.)

Corrientes en el permafrost

Las fallas en las condiciones de permafrost implican el movimiento de tierra de grano fino, anteriormente rica en hielo, y se puede producir en pendientes suaves. El deshielo estacional del metro superior de suelo helado derrite el hielo de la tierra y da lugar a la sobresaturación de los suelos, que a su vez pierde resistencia al corte y produce corrientes. La solifluxión, una forma de arrastre en ambientes fríos, supone una deformación muy lenta de la superficie y forma lóbulos alargados poco profundos ladera abajo. Los desprendimientos de la capa activa, también conocida como corrientes de superficie (skinflows), suponen el movimiento rápido de una capa superficial de suelo saturado y vegetación, que forman corrientes largas y estrechas que se mueven en la superficie, pero sobre los suelos subyacentes permanentemente congelados. Este tipo de movimiento puede exponer las lentes de hielo enterradas, que cuando se descongelan se pueden convertir en corrientes de deshielo progresivas o, posiblemente, corrientes de escombros. Las corrientes de deshielo retrógradas son los rasgos más grandes de forma bimodal, con un testero empinado y una lengua de ángulo bajo de suelo saturado. Este tipo de fenómeno seguirá expandiéndose mediante el retroceso del declive principal hasta que la vegetación desplazada entierra y aísla el declive rico en hielo.

Incidencia

Las corrientes son comunes en los suelos de permafrost ricos en hielo en latitudes del norte y a grandes elevaciones (ambientes fríos).

Tamaño relativo / rango

Las corrientes son en general pequeños, pero pueden aumentar de tamaño a través de retroceso headscarp. Pueden convertirse en una corriente de escombros más grandes.

Velocidad de desplazamiento

Muy lento (solifluxión), lento (Flujo de deshielo retrógrado), Rápido (desprendimiento de la capa activa).

Mecanismos disparadores

Temperaturas estivales superiores a la media, cuñas de hielo, incendios forestales y alteraciones antropogénicas de la capa de turba aislante. Los deslizamientos de tierra son especialmente probables en climas donde hay calentamiento.

Efectos (directos o indirectos)

Los daños a los oleoductos, carreteras y otras estructuras pueden ser severos.

Medidas correctivas / mitigación

Diseñar infraestructuras que tengan un efecto mínimo sobre la capa de turba superficial o la temperatura de la capa activa y evitar, cuando sea posible, los suelos ricos en hielo al planificar las carreteras y otras infraestructuras, puede reducir el riesgo. El contenido de hielo de la tierra superior puede verificarse fácilmente.

Previsibilidad

Si se descongela un suelo rico en hielo, va a fluir. En algunas regiones, se ha cartografiado el contenido de hielo; en otras regiones, el contenido de hielo se puede estimar sobre la base de determinadas unidades cartografiadas que se muestran en los mapas de geología superficial. Las figuras 23 y 24 muestran un esquema y una imagen de una corriente relacionada con el permafrost.

Para obtener más información:
Referencias 2, 9, 39, 43, y 45

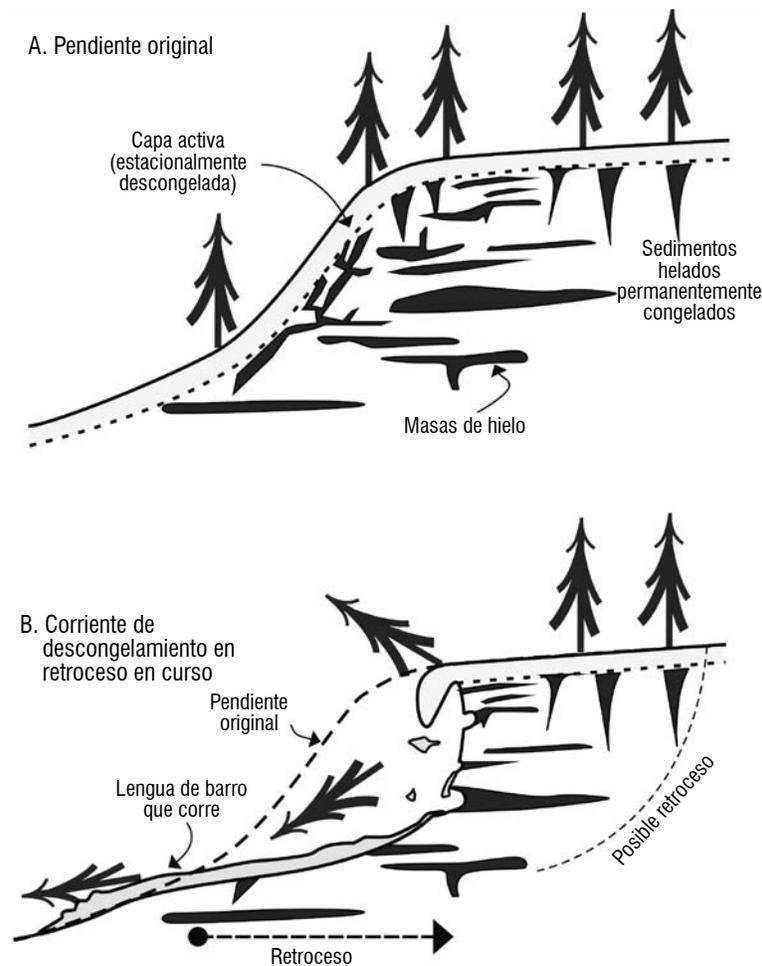


Figura 23. Esquema de un deslizamiento de corriente de descongelamiento retrógrado. (Esquema de Jan Aylsworth, Servicio Geológico de Canadá.)

Una nota sobre los deslizamientos de tierra complejos:

se trata de deslizamientos de tierras que tienen componentes de dos o más de los tipos básicos de deslizamientos de tierra y pueden ocurrir simultáneamente o en diferentes momentos del inicio de fallas en la pendiente.



Figura 24. Fotografía de una corriente de deshielo retrógrado en los Territorios del Noroeste, Canadá. Es probable que incendios forestales hayan contribuido a la magnitud de la corriente al dañar una capa de musgo aislante, lo cual ocasiona el engrosamiento de la capa activa, que está derritiendo el permafrost. (Fotografía de Marten Geertsema, Ministerio de Bosques de Columbia Británica, Canadá.)

Parte C. ¿Dónde se producen deslizamientos de tierra?

Un hecho que sorprende a muchas personas es que los deslizamientos de tierra pueden ocurrir en cualquier parte del mundo. El punto de vista tradicional de que los deslizamientos de tierra se limitan a pendientes extremadamente empinadas y terrenos inhóspitos no refleja con exactitud la verdadera naturaleza del problema. La mayoría de los países del mundo se han visto afectados de alguna manera por deslizamientos de tierra. Esta amplia cobertura geográfica tiene mucho que ver con los muchos mecanismos diferentes de activación de los deslizamientos de tierra.

La precipitación excesiva, terremotos, volcanes, incendios forestales y otros mecanismos y, más recientemente, algunas actividades humanas nocivas no son más que algunas de las principales causas que pueden desencadenar deslizamientos de tierra. Véase la “Parte D. ¿Qué provoca los deslizamientos de tierra?” para obtener más información sobre los mecanismos de desencadenamiento. La figura 25 muestra un ejemplo de extensión lateral, un tipo de fallo de tierra a menudo relacionados con los terremotos.

Del mismo modo, se sabe que los deslizamientos existen tanto en tierra como bajo el agua, ya que pueden ocurrir en el lecho de roca o en los suelos; las tierras de cultivo, las laderas estériles y los bosques naturales están sujetos a deslizamientos de tierra. Tanto las zonas extremadamente secas y las zonas muy húmedas pueden verse afectadas por fallas de las pendientes y, lo que es más importante, las pendientes empinadas no son un requisito necesario para que se produzcan deslizamientos de tierra. En algunos casos, se ha observado que pendientes suaves hasta de 1-2 grados han fallado.

Teniendo en cuenta que pueden ocurrir deslizamientos de tierra prácticamente en cualquier lugar del mundo, lo que hacemos, sin embargo, es reconocer que obedecen a ciertos patrones. A escala nacional, en países como Canadá y los Estados Unidos, existe una clara asociación entre terrenos montañosos como las Montañas Rocosas y ciertos tipos de deslizamientos de tierra. Otras tendencias en la distribución geográfica de los deslizamientos de tierra pueden estar vinculadas a los patrones naturales del clima y el tiempo, incendios forestales y los cauces o cursos de los ríos o actividades humanas tales como la eliminación de la vegetación, la modificación de las pendientes, y otras prácticas ticas urbanas y rurales. En cada uno de estos casos, es importante reconocer que los tipos de deslizamientos varían en relación a las condiciones locales y regionales.

Las corrientes de escombros requieren que haya canales y barrancos, mientras que los desprendimientos de rocas sólo sucederán cuando están presentes caras de lecho de roca empinadas o depósitos ricos en cantos rodados expuestos. Geología sí ocupa un lugar destacado en la ocurrencia de deslizamientos de tierra muchas. La correlación de la actividad sísmica y volcánica a deslizamientos de tierra es de suma importancia – tancia importancia, por lo que los especialistas suelen enfocar la evaluación de los riesgos desde una perspectiva multi-riesgo, que la mayoría, por definición, tiene en cuenta los factores mencionados anteriormente.

*Para obtener más información:
Referencia 2*

*Para obtener más información:
Referencias 8, 16, 19, 25, 30 y 45*



Figura 25. Propagación lateral daños. La fotografía muestra la zona de Puget Sound, en Washington, EE.UU., después de que el terremoto Nisqually de 2001. (Fotografía cortesía del Seattle Times.)

Parte D. ¿Qué provoca los deslizamientos de tierra?

Hay dos categorías principales de causas de los deslizamientos: las naturales y las causadas por la actividad humana. A veces, los deslizamientos son causados o agravados por una combinación de ambos factores.

Fenómenos Naturales

Esta categoría incluye tres mecanismos desencadenantes principales que pueden ocurrir de forma individual o en combinación: (1) agua, (2) actividad sísmica, y (3) actividad volcánica. Los efectos de todas estas causas varían mucho y dependen de factores tales como la inclinación de la pendiente, la morfología o la forma del terreno, el tipo de suelo, la geología subyacente y si hay personas o estructuras en las regiones afectadas. Los efectos de los deslizamientos se examinan con más detalle en la Parte E.

Los deslizamientos de tierra y agua

La saturación de las pendientes por el agua es la principal causa de los deslizamientos de tierra. La saturación puede producirse en forma de lluvias intensas, deshielo, cambios en los niveles de agua subterránea, agua superficial y cambios de nivel a lo largo de las costas, presas de tierra y en las orillas de los lagos, reservorios, canales y ríos. Los deslizamientos de tierra y las inundaciones están estrechamente vinculados porque ambos están relacionados con la precipitación, la escorrentía y la saturación del suelo por el agua. Las inundaciones pueden provocar deslizamientos de tierra al rebajar los márgenes de los arroyos y los ríos y al saturar las laderas con aguas superficiales (escorrentía superficial). Además, las corrientes de escombros y corrientes de lodo se presentan generalmente en canales profundos y pequeños empinados y comúnmente se confunden con las inundaciones. De hecho, estos dos fenómenos ocurren a menudo simultáneamente en la misma zona. Por el contrario, los deslizamientos de tierra también pueden causar inundaciones al deslizarse piedras y escombros que bloquean los cauces de los ríos y otras vías navegables, lo que permite que grandes volúmenes de agua se acumulen detrás de tales presas. Estos remansos causan inundaciones y, si la presa falla, generan después inundaciones aguas abajo. Por otra parte, los escombros sólidos pueden aumentar el volumen y la densidad de corrientes normales o tapan los canales y los desvíos, creando inundaciones o erosión localizada. Los deslizamientos de tierra también puede causar tsunamis (seiches), rebalse de los embalses, y (o) reducción de la capacidad de los embalses para almacenar agua. Las pendientes pronunciadas quemadas por incendios forestales son con frecuencia propensas a deslizamientos debido a la combinación del fuego y la denudación resultante de la vegetación en las laderas, cambios en la química del suelo debido a la combustión y una saturación de las laderas posteriores por el agua procedente de varias fuentes, tales como la lluvia. Las corrientes de escombros son el tipo más común de deslizamientos en las laderas quemadas (para ver una descripción e imágenes de una corriente de escombros, consulte “Parte B. Tipos básicos deslizamientos” en la sección I). Los incendios forestales, por supuesto, pueden deberse a causas naturales o humanas. La figura 26 muestra un



Figura 26. Deslizamientos de tierra de Los Mameyes, Puerto Rico, de 1985. Este deslizamiento de tierra destruyó 120 casas y mató al menos a 129 personas. Este derrumbe catastrófico fue provocado por una tormenta tropical que produjo lluvias torrenciales. Otros factores también podrían haber incluido las aguas residuales que saturaron el suelo en una zona densamente poblada y una fuga en una tubería de agua en la parte superior del derrumbe. (Fotografía de Randall Jibson, Servicio Geológico de los Estados Unidos).

corrimiento de tierras causado por lluvias devastadoras, posiblemente agravado por una fuga en una tubería de agua, que añade aún más agua a la tierra. Parte D. ¿Qué causa los deslizamientos de tierra?

Los deslizamientos de tierra y la actividad sísmica

Muchas zonas montañosas vulnerables a deslizamientos de tierra también han experimentado al menos tasas moderadas de actividad sísmica en épocas registradas. Los terremotos en las zonas propensas a deslizamientos empinada aumentan considerablemente la probabilidad de que ocurran deslizamientos de tierra, debido a los temblores de tierra, la licuefacción de los sedimentos susceptibles o temblores causados por la dilatación de los materiales del suelo, lo que permite la infiltración rápida del agua. Por ejemplo, el Gran terremoto de Alaska en los Estados Unidos de 1964 causó deslizamientos de tierra y otras fallas generalizadas, lo que causó grandes pérdidas monetarias atribuidas al terremoto. Otras regiones de América del Norte, como el Estado de California, la región de Puget Sound, en Washington, y las tierras bajas del San Lorenzo del este de Canadá, han sufrido derrumbes, expansión lateral y otros tipos de fallas de la tierra clasificadas como deslizamientos de tierra, debido a terremotos moderados o de gran magnitud. Los desprendimientos de rocas y caídas de roca también pueden ser causados por el aflojamiento de rocas o formaciones rocosas como consecuencia del sacudimiento producido por un terremoto. La figura 27 muestra los daños causados por un deslizamiento de tierra provocado por un terremoto. También hay un gran peligro de que se formen presas de deslizamiento en los arroyos y ríos debajo de las pendientes pronunciadas, a consecuencia de que el terremoto sacuda la roca y la tierra. Estas presas de deslizamiento bloquean a menudo totalmente o parcialmente la corriente de agua, haciendo que el agua se empoce detrás de la presa de deslizamiento, inundando las zonas río arriba. Ya que estas presas son a menudo inestables, pueden erosionarse rápidamente o durante un período de tiempo y fallar catastróficamente, liberando el agua empozada en forma de diluvio rápido debajo de la presa. Este diluvio es capaz de causar grandes daños río abajo.

Las figuras 32, 42, C53, C54, y C55 muestran ejemplos de grandes presas de deslizamiento que aún existen.



Figura 27. Daños inducidos por un terremoto a una casa construida sobre un terraplén artificial, después del terremoto de 2004 en la Prefectura de Niigata en Japón. (Fotografía del Profesor Kamai de la Universidad de Kyoto, Japón.)

Los deslizamientos de tierra y la actividad volcánica

Los deslizamientos de tierra debidos a la actividad volcánica representan algunos de los tipos más devastadores de fallas. La lava volcánica puede derretir rápidamente la nieve, lo que puede dar lugar a una avalancha de rocas, tierra, cenizas y agua que acelera rápidamente en las laderas escarpadas de los volcanes, devastando todo lo que encuentra a su paso. Estas corrientes de escombros volcánicos (conocidos también como lahares, un término de Indonesia) pueden llegar a grandes distancias después de salir de los flancos del volcán y pueden dañar las estructuras en las zonas planas que rodean a los volcanes. Los edificios volcánicos son estructuras jóvenes, no consolidadas y geológicamente débiles que en muchos casos pueden derrumbarse y causar deslizamientos de rocas, derrumbes y avalanchas de escombros. Muchas de las islas de origen volcánico experimentan fallas periódicas en sus zonas perimetrales (debido a los depósitos débiles de la superficie volcánica) y masas de tierra y de roca se deslizan en el océano o el agua de otros cuerpos acuáticos, tales como las entradas. Estos colapsos pueden crear grandes deslizamientos submarinos, que también pueden desplazar el agua rápidamente, creando posteriormente tsunamis mortíferos que pueden viajar y hacer daño a grandes distancias, así como a nivel local. La figura 28 muestra el desplome del lado de un volcán y la devastación resultante.



Figura 28. El lado del volcán Casita en Nicaragua, Centro América, se derrumbó el 30 de octubre de 1998, día de la precipitación máxima cuando el huracán Mitch pasó por toda Centroamérica. Este lahar mató a más de 2.000 personas a su paso por las localidades del Porvenir y Rolando Rodríguez. (Fotografía de K.M. Smith, Servicio Geológico de los Estados Unidos).

Actividades humanas

Las poblaciones que se asientan en nuevas tierras y la creación de barrios, pueblos y ciudades son los principales medios por los cuales los seres humanos contribuyen a la ocurrencia de deslizamientos de tierra. Perturbaciones o cambios de los patrones de drenaje, la desestabilización de las pendientes y la eliminación de la vegetación son factores comunes inducidos por la actividad humana que pueden iniciar deslizamientos de tierra. Otros ejemplos incluyen el aumento excesivo de la pendiente las laderas al socavarse la parte inferior y cargarse la parte superior de una pendiente hasta superarse la resistencia del suelo o de otros componentes. Sin embargo, los deslizamientos de tierra también puede producirse en zonas otrora estables debido a otras actividades humanas tales como el riego, el riego del césped, el drenaje (o creación) de depósitos, fugas de tuberías, excavación impropia o escalonamiento de las pendientes. Las nuevas construcciones en terrenos propensos a deslizamientos se pueden mejorar mediante la ingeniería adecuada (por ejemplo, la terracería y excavación), identificando en primer lugar la susceptibilidad del sitio a las fallas de las pendientes y zonificando adecuadamente las zonas donde se producen deslizamientos de tierra.

Véase en el Apéndice A una lista más amplia y detallada de las causas / mecanismos de activación de los deslizamientos.

*Para obtener más información:
Referencias 16, 19, 32, 38, 39, 43 y 45*

Parte E. ¿Cuáles son los efectos y consecuencias de los derrumbes?

Los efectos de los deslizamientos de tierra se producen en dos ambientes fundamentales: el entorno construido y el entorno natural. A veces hay intersección entre las dos, por ejemplo, tierras agrícolas y tierras forestales que se talan.

Los efectos de los deslizamientos de tierra en el medio ambiente construido

Los deslizamientos de tierra afectan a las estructuras artificiales situadas directamente sobre o cerca de un deslizamiento de tierra. Las viviendas construidas en pendientes inestables pueden experimentar daños parciales o destrucción completa cuando los deslizamientos de tierra desestabilizan o destruyen los cimientos, las paredes, los terrenos circundantes y los servicios públicos encima del suelo y subterráneos. Los deslizamientos de tierra pueden afectar las zonas residenciales ya sea de forma regional amplia (cuando que muchas viviendas se ven afectadas) o en sitios individuales (donde sólo una estructura o parte de una estructura se ve afectada). Además, el daño causado por un derrumbe a las líneas vitales de una propiedad individual (como el alcantarillado, las tuberías de agua, el tendido eléctrico y los caminos de uso común) puede afectar las comunicaciones vitales y las rutas de acceso de otras propiedades colindantes. Las estructuras comerciales se ven afectadas por deslizamientos de tierra en la misma forma que las estructuras residenciales. En tal caso, las consecuencias pueden ser grandes si la estructura comercial es una estructura de uso común, como un mercado de abastos, que pueden experimentar una interrupción en el negocio debido a daños a la estructura real y (o) los daños a su caminos de acceso.

Los derrumbes de movimiento rápido, tales como las corrientes de escombros son el tipo más destructivo de deslizamientos de tierra para las estructuras, ya que a menudo se producen sin precursores o advertencias, se mueven demasiado rápido para implantar medidas de mitigación y debido a la velocidad y al material son a menudo muy poderosos y destructivos. Los deslizamientos de tierra que se mueven rápido pueden destruir por completo una estructura, mientras que un deslizamiento de tierra que se mueve más despacio puede dañarlo sólo ligeramente y su ritmo lento puede permitir que se impongan medidas de mitigación. Sin embargo, si no se controlan, incluso los deslizamientos de tierra lentos pueden destruir por completo las estructuras con el tiempo. Las avalanchas de escombros y los lahares en zonas escarpadas pueden destruir o dañar rápidamente las estructuras y comunicaciones vitales de las ciudades, pueblos y (o) barrios debido a que son una fuerza poderosa que se mueve muy rápidamente. La naturaleza del movimiento del deslizamiento de tierra y el hecho de que pueda continuar en movimiento después de días, semanas o meses se oponen a la reconstrucción de la zona afectada, a menos que se tomen medidas de mitigación. Incluso entonces, esos esfuerzos no siempre son una garantía de estabilidad.

Una de las mayores consecuencias potenciales de los deslizamientos de tierra es para la industria del transporte. Esto suele afectar a un gran número de personas en todo el mundo. Las fallas de corte y relleno a lo largo de las carreteras y vías férreas, así como el colapso de las carreteras debido a la debilidad de los

suelos subyacentes propensos a deslizamientos y con relleno son problemas comunes. Los desprendimientos de rocas pueden herir o matar a los automovilistas o peatones y dañar las estructuras. Todos los tipos de deslizamientos de tierra pueden conducir al cierre temporal o durante largo tiempo de las rutas cruciales para el comercio, el turismo y las actividades de emergencia debido al bloqueo de carreteras y ferrocarriles por tierra, escombros y (o) rocas (fig. 29). Incluso el arrastre lento puede afectar las infraestructuras lineales, creando problemas de mantenimiento. La figura 29 muestra un deslizamiento de tierra que bloqueó una carretera principal. Los bloqueos de carreteras por deslizamientos de tierra ocurren con mucha frecuencia en todo el mundo, y muchos pueden derribarse o extraerse sencillamente con palas. Otros, como el que se muestra en la figura 29, requieren grandes excavaciones y al menos el desvío temporal del tráfico o incluso el cierre de la carretera.

A medida que crece la población mundial, es cada vez más vulnerable a los peligros de deslizamientos. La gente tiende a asentarse en tierras que podrían haber sido consideradas demasiado peligrosas en el pasado pero que ahora son las únicas regiones que quedan para una población creciente. Políticas de uso del suelo deficientes o inexistentes permitirán la construcción en tierras que deberían usarse para la agricultura, parques abiertos u otros usos que no sean para viviendas u otros edificios y estructuras. Las comunidades a menudo no están preparadas para regular las prácticas inseguras de construcción y pueden no tener los medios políticos legítimos o la experiencia necesaria para hacerlo.



Figura 29. Un deslizamiento de tierras en la Carretera Panamericana en El Salvador, América Central, cerca del pueblo de San Vicente, en 2001. (Fotografía de Ed Harp, Servicio Geológico de los Estados Unidos.)

Nota:

En muchas partes del mundo donde existen seguros privado contra desastres, los daños causados por deslizamientos de tierra no se incluye en las pólizas de seguro y el propietario individual debe pagar los costos de los daños.

Los efectos de los deslizamientos de tierra sobre el medio ambiente natural

Los deslizamientos de tierra tienen efectos sobre el medio ambiente natural:

- La morfología de la superficie de la Tierra y los sistemas de montañas y valles, tanto en los continentes y bajo los océanos; las morfologías de las montañas y los valles son las más afectadas por el movimiento descendente de los grandes derrumbes;
- Los bosques y los pastizales que cubren gran parte de los continentes, y
- La fauna nativa existente en la superficie de la Tierra y en sus ríos, lagos, y mares.

Las figuras 30, 31 y 32 muestran la extensión superficial muy grande de algunos deslizamientos de tierra y cómo pueden cambiar la fisonomía del terreno, afectando los ríos, las tierras de cultivo y los bosques.

Los bosques, los pastizales y la fauna silvestre a menudo se ven negativamente afectados por los deslizamientos de tierra. Los bosques y los hábitats de los peces son los que más fácilmente se dañan de manera temporal o incluso, en raras ocasiones, se destruyen. Sin embargo, debido a que los deslizamientos son fenómenos relativamente locales, la flora y la fauna se pueden recuperar con el tiempo. Además, estudios ecológicos recientes han demostrado que, en determinadas condiciones, a mediano y largo plazo, los deslizamientos de tierra pueden beneficiar a los peces y los hábitats de la vida silvestre, ya sea directamente o mejorando el hábitat de los organismos de que se alimentan los peces y la fauna.

La siguiente lista identifica algunos ejemplos de los deslizamientos que ocurren comúnmente en el medio ambiente natural:

- ***Derrumbe de tierra submarino*** es un término general utilizado para describir el movimiento de masas ladera abajo de materiales geológicos de las regiones más superficiales a las más profundas del océano. Tales fenómenos pueden producir efectos importantes para la profundidad de las líneas costeras, afectando en última instancia el atraque de los botes y la navegación. Este tipo de deslizamientos de tierra puede ocurrir en los ríos, lagos y océanos. Grandes deslizamientos de tierra submarinos desencadenados por los terremotos han causado tsunamis mortales, como los tsunamis de los Grandes Bancos de 1929 (frente a las costas de Terranova, Canadá).
- ***Erosión de los acantilados***, es otro efecto común de deslizamientos de tierra en el medio natural. Derrumbes de roca y suelo, deslizamientos y avalanchas son los tipos comunes de deslizamientos que afectan las zonas costeras. Sin embargo, también se conoce la existencia de derrumbes y corrientes. Las rocas que caen como consecuencia de la erosión de los acantilados pueden ser especialmente peligrosas para los que ocupan zonas en la base de los acantilados o en las playas cerca de los acantilados. Grandes cantidades de material de derrumbes también pueden ser destructivas para la vida acuática, como peces y algas, y el rápido depósito de sedimentos en las masas de agua cambia a menudo la calidad del agua cerca de las costas vulnerables.

- **Presas de deslizamiento**, que pueden darse naturalmente, cuando un gran derrumbe bloquea la corriente de un río, formando un lago detrás del bloqueo. La mayoría de estas presas son de corta duración, ya que el agua erosiona finalmente la presa. Si el deslizamiento no es destruido por los procesos naturales de erosión o modificado por los seres humanos, crea una nueva forma en el terreno: un lago. Los lagos creados por las presas de derrumbe pueden durar mucho tiempo, o pueden ser liberados de repente y causar graves inundaciones aguas abajo. Hay muchas maneras de reducir el peligro potencial de las presas de deslizamientos y algunos de estos métodos se examinan en las secciones de este libro sobre seguridad y mitigación. La figura 32 muestra el deslizamiento de tierra Slumgullion, uno de los más grandes deslizamientos de tierra en el mundo. La presa de derrumbe que se ha formado es tan grande y ancha que ha durado 700 años. Las figuras C53, C54, C55 (en el Apéndice C) también muestran aspectos de otra gran presa de derrumbe.

*Para obtener más información:
Referencias 4, 11, 14, 16, 19, 31, 35,
36, 39 y 43*

Véase en el Apéndice C más información sobre la mitigación de los efectos de las presas de derrumbe.



Figura 30. El volcán activo Monte Shasta en California, EE.UU.. Observe los accidentes geográficos en el primer plano, causados por una avalancha de escombros que ocurrió hace unos 300.000 años. La avalancha de escombros ha recorrido grandes distancias desde el volcán y produjo efectos duraderos en la topografía que todavía pueden verse hoy en día. (Fotografía de R. Crandall, Servicio Geológico de los Estados Unidos.)



Figura 31. Vista hacia abajo del Río Mala (que fluye de abajo a la izquierda) y el Río Coca, al noreste del Ecuador, en América del Sur. Los cauces de ambos ríos se han llenado de sedimentos dejados por las corrientes de escombros provocadas por los terremotos del Reventador de 1987. Las pendientes en el área habían sido saturadas por las fuertes lluvias en los días antes del terremoto. Los deslizamientos de tierra y de escombros, las avalanchas de escombros, las corrientes de escombros o de lodo y las inundaciones resultantes destruyeron unos 40 kilómetros del oleoducto Transecuatoriano y la única carretera de Quito. Fotografía de R.L. Schster, Servicio Geológico de los Estados Unidos. Información tomada de la referencia 32.



Figura 32. El derrumbe Slumgullion, Colorado, EE.UU. Este deslizamiento de tierra (conocido oficialmente como corriente de tierra) contuvo el lago del río Gunnison, que inundó el valle, formando el lago Cristóbal. (Fotografía de Jeff Coe del Servicio Geológico de los Estados Unidos).

Parte F. Interacción de los deslizamientos con otros peligros naturales.

El efecto de peligros múltiples

Los peligros naturales, tales como inundaciones, terremotos, erupciones volcánicas y deslizamientos de tierra pueden ocurrir simultáneamente, o uno o más de estos riesgos pueden desencadenar uno o más de los otros. Los deslizamientos de tierra son a menudo el resultado de terremotos, inundaciones y actividad volcánica y pueden a su vez causar peligros posteriores. Por ejemplo, un deslizamiento de tierra inducido por un terremoto puede causar un tsunami mortal si suficiente material de derrumbe se desliza en un cuerpo de agua y desplaza un gran volumen de agua. Otro ejemplo sería una erupción volcánica o un terremoto inducido por un deslizamiento de tierra que bloquea un río, haciendo que el agua se empoce detrás de la masa e inunde la zona aguas arriba. En caso de fallar la presa, el agua embalsada se desplomará repentinamente, causando inundaciones aguas abajo. Esta inundación puede añadir a la erosión de las orillas del río y las costas y causar desestabilización debido a una rápida saturación de las laderas y socavamiento de los acantilados y los bancos. Por lo tanto, al evaluar la vulnerabilidad de un territorio a deslizamientos de tierra, es imperativo examinar todos los otros peligros naturales posibles. Actualmente, existen pocos mapas que muestren la susceptibilidad a peligros múltiples, porque un solo peligro se asigna a la mayoría de las zonas.

Las figuras 33-35 muestran fenómenos donde riesgos múltiples participan en deslizamientos de tierra.

*Para obtener más información:
Referencias 17, 20, 35, 39, 43, y 45*



Figura 33. Un ejemplo de un caso de riesgos múltiples. La fotografía muestra una vista aérea de la Bahía de Lituya, Alaska, EE.UU. El 9 de julio de 1958, un terremoto produjo un deslizamiento de tierra en la bahía. El deslizamiento de tierra, a su vez, provocó una ola de tsunami que recorrió de 174 metros en la orilla opuesta y una ola de 30 metros más allá de la Bahía de Lituya. Es la mayor ola generada por un deslizamiento jamás documentada. Observe la extensión de las zonas no forestadas que recubren la costa de la bahía, que marcan el alcance aproximado de la ola del tsunami. (Fotografía de D.J. Miller del Servicio Geológico de los Estados Unidos.)



Figura 34. El caso de riesgos múltiples en Tanaguarena, en la costa de Venezuela, América del Sur, de 1999. Las inundaciones y deslizamientos de tierra fueron provocadas por las fuertes lluvias. (Fotografía de Matthew Larsen, Servicio Geológico de los Estados Unidos.)



Figura 35. Esta es una fotografía que muestra las secuelas de un fenómeno de peligros múltiples. Es una vista aérea que muestra parte de la Cordillera de los Andes y el Nevado Huascarán, el pico más alto en el Perú, América del Sur. Una avalancha masiva de hielo y restos de rocas, provocada por el terremoto del 31 de mayo 1970, sepultó las ciudades de Yungay y Ranrahirca, matando a más de 20.000 personas, alrededor del 40 por ciento de la total cifra de muertos de 67.000. La avalancha comenzó con una masa movediza de hielo glaciar y roca de cerca de 1.000 metros (3.000 pies) de ancho y 1,6 kilómetros (una milla) de largo que barrió cuesta abajo alrededor de 5,4 kilómetros (3,3 millas) hasta Yungay a una velocidad media de más de 160 kilómetros por hora. El hielo recogió material de morrenas consistente en agua, lodo y rocas. (Fotografía del Servicio Aerofotográfico Nacional, por George Plafker, del Servicio Geológico de los Estados Unidos.) Archivos fotográficos e información del Servicio Geológico de los Estados Unidos, <http://libraryphoto.cr.usgs.gov/>.)

Sección II. Evaluación y comunicación del peligro de deslizamientos

SLIDE AREA AHEAD
WATCH FOR
FALLEN ROCKS

En todo el mundo, la información sobre deslizamientos de tierra varía en su cantidad y complejidad y la calidad va desde inventarios detallados de los deslizamientos del pasado y la susceptibilidad resultante y los mapas de peligrosidad a ninguna información en absoluto. La gente en algunas regiones del mundo tiene memoria colectiva acerca de deslizamientos pasados y sabe dónde son inestables y (o) peligrosas las laderas, y por ello sabe intuitivamente dónde conviene construir o no construir. Sin embargo, en muchas regiones no es fácil detectar las posibilidades de deslizamiento y las fallas de la tierra no se producen de forma regular. Además, algunos mecanismos de desencadenamiento ocurren esporádicamente y tienen un efecto gradual y acumulativo que no se puede observar con facilidad.

Parte A. La evaluación del peligro de derrumbes

Hay muchos diferentes medios de evaluación de amenaza de deslizamiento para un área, es siempre recomendable consultar con un experto para la evaluación más precisa, aunque esto no siempre es posible. Aquí se examinan dos tipos de evaluaciones del riesgo de derrumbes: la observación directa y el uso de herramientas tecnológicas.

Observación y (o) inspección por expertos locales y (o) funcionarios municipales o por los propietarios.

La siguiente guía sencilla puede ayudar a las personas en la observación y la evaluación de una amenaza de deslizamiento potencial. Es importante señalar que algunas de estas características también pueden obedecer a causas que no son los deslizamientos de tierra, tales como la hinchazón de los suelos.

Para obtener más información:
Referencias 1, 3, 4, 19, 20, 21, 25,
26, 36, 39, 42 y 44

Características que pueden indicar un deslizamiento:

- Manantiales, filtraciones y suelos húmedos o saturados en las zonas anteriormente secas en o debajo de laderas.
- Grietas en la tierra; grietas en la nieve, el hielo, la tierra o la roca o en la cima de las laderas.
- Las aceras o losas se alejan de las estructuras si están cerca de una pendiente. El suelo se aleja • de los cimientos.
- Cercas torcidas que antes estaban rectas o configuradas de otra manera (ver la fotografía de la Figura 22).
- Protuberancias poco usuales o cambios de elevación del suelo, los pavimentos, caminos, • o aceras.
- Inclinación de postes telefónicos, árboles, • muros de contención, cercas.
- Inclinación excesiva o grietas en pisos de concreto y cimientos.
- Rotura de las tuberías de agua y de otros servicios subterráneos.
- Rápido aumento o disminución de los niveles de agua corriente, posiblemente acompañado de • aumento de la turbidez (la tierra enturbia el agua).
- Las puertas y ventanas se atascan y hay espacios abiertos visibles, lo que indica las paredes y marcos • se están moviendo y deformando.
- Chirridos, chasquidos o crepitaciones de una casa, edificio o arboledas (por ejemplo, las raíces se rompen o se quiebran).
- Carreteras o caminos hundidos o sumidos.

Nota a los administradores: Es importante que los órganos rectores proporcionen un medio para llevar registros, de preferencia en formato escrito, sobre los deslizamientos de tierra ocurridos, de ser posible con fotografías y (o) diagramas. En las regiones del mundo que todavía no tienen leyes o reglamentos que exijan la divulgación de información sobre el peligro de deslizamientos de tierra a los propietarios, es importante que las aldeas, municipios o ciudades establezcan alguna fuente de información autorizada sobre riesgos. Esto no tiene que ser complicado o caro, pero proporcionará un medio de mantener la información actualizada.

Aunque alguna información puede ser de acceso políticamente difícil, como por ejemplo los derechos de los propietarios, es importante que la información sobre deslizamientos de tierra se ponga a disposición de la población general de alguna manera.



Figura 36. Grietas en la tierra. (Fotografía cortesía del Servicio Geológico de Utah).



Figura 37. Una acera se aleja de la casa. (Fotografía por cortesía del Servicio Geológico de Utah).



Figura 38. Ruidos en las bases de una estructura. (Fotografía por cortesía del Servicio Geológico de Utah).

Herramientas tecnológicas para la evaluación de deslizamientos de tierra: cartografía, teledetección y seguimiento

Uno de los principios rectores de la geología es que el pasado es la clave del futuro. Al evaluar los deslizamientos de tierra, esto significa que las futuras fallas de las pendientes podrían ocurrir como resultados de las mismas situaciones geológicas, geomorfológicas e hidrológicas causaron las fallas pasadas y presentes. Con base en este supuesto, es posible estimar el tipo, frecuencia, extensión y consecuencias de las fallas de las pendientes que pueden ocurrir en el futuro. Sin embargo, la ausencia de estos fenómenos en el pasado en una zona específica no luye la posibilidad de futuras fallas. Condiciones inducidas por la actividad humana, tales como cambios en la topografía natural o las condiciones hidrológicas, puede crear o aumentar la susceptibilidad de una zona a fallas de las pendientes.

Con el fin de predecir los peligros de deslizamientos en una zona, se deben identificar las condiciones y procesos que promueven la inestabilidad y si es posible se deben estimar sus contribuciones relativas a fallas de la pendiente. Se pueden sacar conclusiones útiles relativas al incremento de la probabilidad de deslizamientos combinando el análisis geológico con conocimiento de las condiciones meteorológicas de corto y largo plazo. La tecnología actual permite a las personas que vigilan los movimientos de tierra definir las regiones más susceptibles a deslizamientos y emitir advertencias y “alertas” que cubren períodos que van de horas a días cuando se presentan las condiciones meteorológicas o los umbrales que aumentan o inician ciertos tipos de deslizamientos de tierra.

Análisis de mapas

El análisis de mapas suele ser uno de los primeros pasos en una investigación de deslizamientos. Entre los mapas necesarios están los del lecho de roca y la geología superficial, la topografía, los suelos, y si es posible, mapas geomorfológicos. Utilizando sus conocimientos de los materiales y procesos geológicos, una persona entrenada puede obtener de esos mapas una idea general de la susceptibilidad. El Apéndice B al final de este informe contiene una sección sobre los distintos tipos de mapas utilizados en el análisis de deslizamientos de tierra.

Reconocimiento aéreo

El análisis de las fotografías aéreas es una técnica rápida y valiosa para identificar los deslizamientos de tierra, ya que proporciona una visión tridimensional del terreno, indica las actividades humanas y proporciona mucha información geológica a una persona entrenada. Además, la disponibilidad de muchos tipos de imágenes aéreas (de satélite, infrarrojas, de radar, etc.) hace que el reconocimiento aéreo sea muy versátil aunque el coste es prohibitivo en algunos casos.

Reconocimiento de campo

Muchos de los signos más sutiles del movimiento de las laderas no pueden ser identificados en los mapas o fotografías. De hecho, si un área está densamente arbolada o ha sido urbanizada, incluso las principales características pueden no ser evidentes. Además, las características de los deslizamientos cambian con el tiempo en una ladera activa. Por lo tanto, el reconocimiento de campo siempre es obligatorio para verificar o detectar las características de los deslizamientos y para evaluar críticamente la inestabilidad potencial de las laderas vulnerables. En él se identifican las zonas donde ha habido deslizamientos en el pasado (lo que podría indicar la probabilidad de deslizamientos de tierra en el futuro) mediante el uso de la cartografía de campo y ensayos de laboratorio del terreno a través de la toma de muestras de suelo y roca. La cartografía y los análisis de laboratorio pueden identificar, por ejemplo, las arcillas vulnerables u otros suelos sensibles, así como mostrar dónde existen y su tamaño y extensión.

Perforación

En la mayoría de los sitios, es necesario perforar para determinar el tipo de materiales de la tierra que están presentes en un deslizamiento, la profundidad a la superficie de deslizamiento y por lo tanto el grosor y la geometría de la masa del deslizamiento, el nivel freático y el grado de perturbación de los materiales del deslizamiento de tierra. También puede proporcionar muestras apropiadas para determinar la edad y ensayar las propiedades de ingeniería de los materiales de los deslizamientos. Por último, es necesario perforar para instalar algunos instrumentos de vigilancia hidrológica y pozos de observación. Tenga en cuenta que también se perfora, por ejemplo, para obtener información sobre la estratigrafía, la geología, los niveles freáticos y la instalación de instrumentos en las zonas donde nunca ha habido un deslizamiento de tierra, pero donde existe esa posibilidad.

Instrumentación

Métodos sofisticados como la medición electrónica a distancia (MED), instrumentos tales como inclinómetros, extensómetros, medidores de tensión y piezómetros (ver en el Glosario las definiciones de estos instrumentos) y técnicas sencillas, como establecer puntos de control mediante el uso de estacas pueden utilizarse para determinar la mecánica del movimiento de los deslizamientos y vigilar y advertir contra fallas inminentes de la pendiente.

Estudios Geofísicos

Técnicas geofísicas (medición de la conductividad / resistividad eléctrica del suelo o la medición del comportamiento sísmico inducido) se puede utilizar para determinar algunas características del subsuelo, tales como la profundidad al lecho de roca, las capas estratigráficas, las zonas de saturación y algunas veces el nivel freático. También se pueden utilizar para determinar la textura, porosidad y grado de consolidación de los materiales del subsuelo y la geometría de las unidades en cuestión. En la mayoría de los casos, tales métodos de topografía de superficie se pueden utilizar para complementar la información obtenida de la perforación, que amplía e interpola espacialmente los datos entre los pozos. También puede ofrecer una alternativa en caso de ser imposible perforar. Los métodos geofísicos de fondo del pozo (nuclear, eléctrico, térmico, sísmico) también se pueden usar para obtener mediciones detalladas en un pozo. La vigilancia de las emisiones acústicas naturales del suelo o la roca en movimiento también se ha utilizado para estudiar los deslizamientos

Imágenes y perfiles acústicos

Pueden obtenerse perfiles de los lechos de lagos, lechos de los ríos y el fondo marino mediante técnicas acústicas como el sonar de barrido lateral y perfiles sísmicos debajo del fondo. La topografía de redes controladas, con una navegación precisa, puede producir perspectivas tridimensionales de los fenómenos geológicos subacuáticos. En zonas de la plataforma en alta mar se utilizan habitualmente técnicas modernas de alta resolución para elaborar mapas de los peligros geológicos para la ingeniería en alta mar.

Análisis computadorizado de deslizamientos

En los últimos años, se han utilizado modelos computadorizados de los deslizamientos de tierra para determinar el volumen de las masas de los deslizamientos de tierra y los cambios de la expresión superficial y la sección transversal con el tiempo. Esta información es útil para calcular el potencial de bloqueo de las corrientes, el costo de remoción de los deslizamientos (basado en el volumen) y el tipo y el mecanismo de movimiento. Se están desarrollando métodos prometedores que usan modelos de elevación digital (MED) para evaluar las regiones rápidamente y determinar su susceptibilidad a deslizamientos y corrientes de escombros. Los ordenadores también se utilizan para realizar análisis complejos de estabilidad. Hay programas de software para ordenadores personales para realizar estos estudios.

Véase el Apéndice B para obtener más información e imágenes de tipos de mapas.

*Para obtener más información:
Referencias 4, 15, 18, 24, 25, 39 y 46*

Parte B. La comunicación del peligro de deslizamientos

La traducción satisfactoria de información sobre peligros naturales en una forma útil para los usuarios no técnicos transmite los siguientes tres elementos en una forma u otra:

- La probabilidad de que ocurra un fenómeno de una magnitud y en un lugar que causaría víctimas, daños, o la interrupción del nivel de seguridad actual.
- La ubicación prevista y el alcance de los efectos del fenómeno sobre el terreno, las estructuras o la actividad socioeconómica.
- La gravedad estimada de los efectos sobre el terreno, las estructuras, o la actividad socioeconómica.

Estos elementos son necesarios porque los ingenieros, planificadores y tomadores de decisiones por lo general no se preocupan de un peligro potencial si su riesgo es poco frecuente, su ubicación se desconoce o su gravedad es leve.

Por desgracia, estos tres elementos de información pueden venir en diferentes formas con muchos nombres diferentes, algunos cuantitativos y precisos, otros cualitativos y generales. Para que un producto se califique como información útil sobre los peligros, el usuario no técnico debe ser capaz de percibir la probabilidad, ubicación y gravedad del peligro para ser consciente del peligro, comunicar el riesgo a otros y utilizar la información directamente para reducir una amenaza.

Información de seguridad

La seguridad es sin duda la primera tarea para los directivos y funcionarios municipales. Las personas que viven en zonas propensas a movimientos rápidos y corrientes de escombros mortales necesitan información sobre la probabilidad del peligro, por ejemplo, cuando es más peligroso encontrarse al paso de posibles corrientes de escombros (si llueve mucho) y en qué momento evacuar y (o) dejar de caminar o conducir en una zona peligrosa. La información de seguridad sobre deslizamientos de movimiento lento es igualmente importante ya que este tipo de deslizamientos de tierra puede dañar (o romper) las líneas eléctricas y de gas, creando un peligro adicional de incendio, electrocución y vapores de gas.

Información sobre la construcción

Esta información también es valiosa para las comunidades, de modo que puedan evitarse algunas de las causas de los deslizamientos de tierra. Esta información se analiza en la Sección III, “Conceptos y enfoques de mitigación”.

La información de seguridad, la educación, y construir pueden ser puestos a disposición de los residentes de varias maneras. Una lista de los reglamentos de construcción, los procesos de inspección de la construcción, y las posibles regiones donde haya problemas de desestabilización que pueden causar deslizamientos pueden facilitarse de las formas siguientes:

Medios para que el gobierno local comunique el peligro de deslizamiento

- Boletines de prensa y material publicitario.
- Folletos de servicio público distribuidos puerta a puerta o exhibidos en lugares públicos.
- Debates en reuniones de la comunidad.
- Carteles en edificios públicos y (o) mercados con la mayor cantidad de información visual posible.
- Anuncios en los medios de comunicación por radio, televisión, altavoces u otros medios.
- Conferencias públicas por expertos u otros funcionarios.
- Carteles en las zonas inmediatas a los riesgos para informar a la gente sobre el peligro y advertirle que debe tener cuidado. Un ejemplo sería un aviso de advertencia del riesgo de caída de rocas a lo largo de senderos muy transitados.
- En las zonas donde las tasas de alfabetización son bajas, las comunicaciones orales con gráficos, fotografías e ilustraciones de los riesgos puede ser muy eficaz. ¡Las imágenes pueden valer más que mil palabras!
- Guía telefónica: En las zonas donde hay servicio telefónico generalizado o accesible, los listados municipales del departamento de ingeniería , planificación de emergencias, la policía y los bomberos.
- Siempre que sea posible, un sitio de Internet municipal es una fuente útil de información sobre seguridad, números de teléfono y correos electrónicos del personal de emergencia y los departamentos de ingeniería y (o) planificación.
- Determinar las amenazas locales de deslizamiento a través de un grupo de trabajo y (o) la obtención de dictámenes profesionales. Estudios geológicos estatales, departamentales o municipales, departamentos universitarios de geología o de ingeniería y empresas geotécnicas privadas son fuentes de asesoramiento. Prever cuando sea posible un programa de mapas, ya sea dentro del gobierno local o contratado con profesionales.
- Educación pública y programas de información a través de reuniones de la comunidad, ayuntamiento, o otros consejos.
- Adoptar y aplicar políticas adecuadas de uso del suelo; se deben discutir con los propietarios, promotores, compradores y vendedores . Una opción es exigir que se revelen los riesgos geológicos en las ventas de propiedades para garantizar que el nuevo comprador tenga conocimiento de cualquier problema.
- Vigilar los cambios en laderas inestables y tomar medidas apropiadas (ver “Mitigación” de este manual).
- Construir proyectos de drenaje y viales que cumplan con las necesidades locales • de seguridad y las ordenanzas.
- Continuar los programas de subvención pública y los programas gubernamentales de infraestructura y proyectos de mejora de las obras públicas.
- Estar informado sobre los programas de seguros disponibles y la responsabilidad y saber dónde recae la responsabilidad del gobierno local por la seguridad pública y el bienestar.
- Tener un plan de respuesta a emergencias para la comunidad. Consultar con los pueblos y (o) las comunidades vecinas que cuentan con planes y los han utilizado en una emergencia. Evaluar su eficacia en su propia situación.

Ejemplos de señales de advertencia de peligro

Las siguientes figuras (figs. 39, 40 y 41) muestran ejemplos de algunos avisos de advertencia simples que pueden colocarse en regiones peligrosas. Esta información también se puede utilizar en las políticas de manejo de emergencias para los municipios y (o) las comunidades.

*Para obtener más información:
Referencias 1, 6, 19, 21, 23, 24, 26,
36 y 41*

En el Apéndice B se dan muestras de información de seguridad básica sobre las corrientes de escombros y otros peligros de deslizamiento de tierra que son adecuadas para su publicación y distribución en lugares públicos



Figura 39. Ejemplo de un aviso de peligro de caída de rocas.

Figura 40. Aviso de los peligros de los acantilados, ciudad de Wanneroo, Australia.

Figura 41. Aviso en una carretera en Virginia, EE.UU.

Sección III. Conceptos y enfoques de mitigación

La vulnerabilidad a deslizamientos de tierra está en función de la ubicación de un sitio (topografía, geología, drenaje), tipo de actividad, y la frecuencia de deslizamientos en el pasado. Los efectos de los deslizamientos sobre las personas y las estructuras se pueden disminuir mediante la supresión total de regiones con riesgo de deslizamiento o limitando, prohibiendo o imponiendo condiciones sobre las actividades en la zona de peligro. Los gobiernos locales pueden lograr esto a través de políticas y reglamentos de uso del suelo. Las personas pueden reducir su exposición a los riesgos adquiriendo información sobre el historial de los peligros de un sitio que les interese e indagando en los departamentos de planificación e ingeniería de los gobiernos locales. También podrían contratar los servicios profesionales de un ingeniero geotécnico, un ingeniero civil o un ingeniero geólogo que puede evaluar adecuadamente el potencial de riesgo de un sitio, construido o no construido.

Parte A. Panorama general de los métodos de mitigación para los distintos tipos de peligros de derrumbes

Pedir consejo a los profesionales se aconseja siempre que sea posible, pero los gerentes y propietarios de viviendas deben saber acerca de la mitigación a fin de tomar decisiones informadas en materia de construcción y uso del suelo. Algunas de estas medidas se examinan en esta sección. Información más detallada sobre la reducción de deslizamiento de tierra se proporciona en el Apéndice C y en Turner y Schuster (1996) (Referencia 39).

La forma más fácil de abordar el peligro de derrumbes es evitar construir en laderas escarpadas y deslizamientos de tierra existentes. Sin embargo, esto no siempre es práctico. Otro enfoque consiste en regular el uso de la tierra y el urbanismo para asegurar que la construcción no reduzca la estabilidad de las laderas. La prevención y la regulación se basan en los mapas de deslizamientos y las definiciones subyacentes de las regiones de deslizamientos para reducir el riesgo (Apéndice B). En caso de que los deslizamientos de tierra afecten las estructuras existentes o no se puedan evitar, se pueden utilizar controles físicos. En algunos casos, la supervisión y los sistemas de alerta (Apéndice B) permiten a los residentes evacuar las zonas temporalmente durante los tiempos cuando la probabilidad de actividad de deslizamientos es alta.

Estabilización de taludes de tierra

La estabilidad aumenta cuando se impide que el agua subterránea aumente la masa de deslizamientos:

- Encauzando el agua lejos de la superficie del deslizamiento,
- Drenando el agua subterránea lejos del deslizamiento de tierra para reducir la posibilidad de un aumento del nivel del agua subterránea,
- Cubriendo el deslizamiento de tierra con una membrana impermeable, y (o)
- Minimizando el riego de la superficie. La estabilidad del talud también aumenta cuando se coloca peso o estructuras de retención en el pie del deslizamiento de tierra o cuando se quita masa (peso) de la cabeza del talud.

Plantar o alentar el crecimiento natural de la vegetación también puede ser un medio eficaz para la estabilización de los taludes; esto se trata detalladamente en el apartado sobre métodos biotécnicos de mitigación y el Apéndice C.

Un ejemplo de un medio de estabilización de taludes es el uso de muros de contención. Los muros de contención son estructuras construidas para sostener una masa de suelo de forma permanente. También se utilizan cada vez que los requerimientos de espacio hacen imposible establecer una pendiente del lado de una excavación, o para impedir el desprendimiento de la tierra suelta de las laderas en las carreteras o las propiedades. Los muros de contención también se utilizan para prevenir o minimizar la erosión del pie por socavación del río o para retardar el arrastre. Sin embargo, no pueden utilizarse para impedir que se produzcan deslizamientos de tierra. Varios tipos básicos de muros son las armazones de

madera, cajas de acero, pilotes, voladizos, tablestacas, mallas de plástico y tierra reforzada. Cada uno de estos tipos tiene sus ventajas en ciertas situaciones, pero por lo general el costo es lo que determina cuál tipo se adopta. Más información acerca de los muros de contención se da en el Apéndice C.

Véase el Apéndice C para obtener más información sobre los métodos de estabilización.

Mitigación de los peligros de la caída de rocas

La caída de rocas es común en regiones del mundo con pendientes escarpadas de rocas y acantilados. Éstas suelen ser regiones montañosas o mesetas, ya sea en las zonas costeras o entre rocas aisladas. La caída de rocas causa cuantiosas pérdidas y muertes, las primeras principalmente al obstaculizar el transporte y el comercio debido al bloqueo de las carreteras y las vías navegables y las segundas al producirse víctimas directas de las caídas de piedras. A veces se desvían los caminos y carreteras alrededor de las zonas de caída de rocas pero esto no siempre es práctico. Muchas comunidades colocan avisos de peligro alrededor de zonas donde hay un elevado riesgo de caída de rocas. Algunos métodos de mitigación del riesgo de caída de rocas incluyen zanjas de captación, bancos, raspado y corte, cable y malla, concreto lanzado, anclas, pernos, pasadores y explosiones controladas.

Véase el Apéndice C para obtener más información sobre medios para prevenir y desviar la caída de rocas.

Mitigación del peligro de las corrientes de escombros

Debido a la velocidad y la intensidad de la mayoría de las corrientes de escombros, son muy difíciles de parar una vez que han iniciado. Sin embargo, se dispone de métodos para contener y desviar las corrientes de escombros, principalmente a través de la utilización de muros de contención y cuencas de arrastre de escombros. Otros métodos de mitigación incluyen la modificación de las pendientes (evitando que sean vulnerables a la iniciación de corriente de escombros mediante el control de la erosión), la revegetación y la prevención de incendios forestales, que intensifican las corrientes de escombros en las laderas escarpadas.

Véase el Apéndice C para obtener más información sobre los métodos de mitigación de los riesgos de las corrientes de escombros.

Mitigación de las presas formadas por los deslizamientos

Muchos problemas surgen cuando los deslizamientos forman presas en las vías navegables. Las presas causadas por deslizamientos de tierra son un problema común en muchas regiones del mundo. Se pueden producir deslizamientos de tierra en las paredes del cauce de los arroyos y ríos. Si suficiente material desplazado (roca, suelo, y (o) escombros) llena la vía navegable, el deslizamiento de tierra actuará como un dique natural, bloqueando la corriente del río y la creación de inundaciones río arriba. Ya que estas presas naturales están a menudo compuestas de material suelto, no consolidado, por lo común son inherentemente débiles, se

rebalsan pronto y fallan debido a la erosión. Cuando la rotura ocurre rápidamente, el agua empozada se precipita hacia el río, causando inundaciones potencialmente catastróficas aguas abajo. Un ejemplo de presas de derrumbe es la presa Usoi de 600 metros de altura en Tayikistán, una de las presas de derrumbe más grandes del mundo. Un gran terremoto inducido por deslizamientos represó el río Murghab, creando el Lago Sarez. La presa supone un riesgo para las personas que viven aguas abajo. Además, la acción sísmica futura puede causar más derrumbes que se deslizarían en el lago represado, causando un seiche (una ola de parecida a un tsunami en una cuenca de agua cerrada), que puede debilitar y (o) rebalsar el deslizamiento. La figura 42 muestra una presa de deslizamiento causado por el deslizamiento de laderas saturada y la figura 43 muestra una presa corrimiento de tierras causado por un terremoto.

Véase el Apéndice C para obtener más detalles sobre los métodos de mitigación para las presas de deslizamientos.



Figura 42. El derrumbe Thistle en Utah, EE.UU. Este deslizamiento de tierra 1983 represó el río Spanish Fork, empozando el agua, que inundó la ciudad de Thistle. Muchas presas de deslizamiento de tierra son mucho más pequeñas que la que se muestra aquí y el agua empozada puede rebalsarse, o se pueden erosionar. Algunas son mucho más grandes y las carreteras y vías férreas bloqueadas o dañadas se deben desviar alrededor de la masa del derrumbe. El túnel de hormigón en la parte inferior de la fotografía de abajo muestra donde la vía férrea fue desviada alrededor del deslizamiento Thistle y excavada a través de una montaña adyacente.



Figura 43. El gran terremoto que sacudió China el 12 de mayo de 2008 causó grandes daños en la región montañosa de Beichuan. En muchos casos, los deslizamientos de tierras en los valles empinados formaron presas de deslizamiento, creando nuevos lagos en cuestión de horas. Este par de imágenes similares a fotos de alta resolución, tomadas por el satélite Formosat Taiwan-2 el 14 de mayo de 2006 (arriba) y el 14 de mayo de 2008 (abajo), antes y después del terremoto, muestran el gran derrumbe que bloqueó el río Jiangjian, formando un peligroso lago represado por deslizamientos.

Métodos biotecnológicos de mitigación de deslizamientos

Este tipo de protección de laderas se utiliza para reducir las consecuencias ambientales adversas de las medidas de mitigación de deslizamientos. Cuando se utiliza para la recuperación o mitigación de deslizamientos, las estructuras convencionales de retención de tierra de acero o de concreto no suelen ser visualmente agradable o bondadosas para el medio ambiente. Estas medidas tradicionales “duras” de corrección suplantadas cada vez más por cuerpos compuestos de suelo con vegetación compuesto y estructuras que son ambientalmente más amigables. Este proceso se ha llegado a conocer como protección biotécnica de laderas. Algunos sistemas biotecnológicos comunes incluyen mallas de distintos materiales ancladas con clavos en el suelo que mantienen en su lugar suelo sembrado con césped.

Se ha investigado el uso de plantas para estabilizar el suelo para evitar la erosión excesiva y también para mitigar el efecto de los deslizamientos. Uno de los tipos más prometedores de plantas es el vetiver, un tipo de hierba que funciona muy bien para estabilizar taludes contra la erosión en muchos entornos diferentes. Véase el Apéndice C para obtener más información sobre los usos de hierba Vetiver y su adecuación geográfica.

Véase el Apéndice C para obtener más información sobre las técnicas de mitigación.

Parte B. Técnicas sencillas de mitigación para el hogar y empresas, gerentes y ciudadano

Hay medios simples y de baja tecnología para que los propietarios y otros apliquen métodos y técnicas que son eficaces y disminuyen los efectos de los deslizamientos. En primer lugar, siempre es preferible consultar a un profesional, como un ingeniero geotécnico o un ingeniero civil, ya que han tenido la formación y experiencia necesarias para resolver problemas de inestabilidad. Una empresa o profesional local puede ser el más indicado, ya que pueden estar familiarizados con la geología, los tipos de suelo y la geografía de la zona en cuestión. Esto no siempre es así, pero es una base para empezar las indagaciones. Cuando hay jurisdicciones locales tales como oficinas del condado y (o) las municipales, los que trabajan en estas instituciones puede ser geólogos profesionales, planificadores, y (o) expertos en construcción que puede responder preguntas, ofrecer mapas y explicar las normas de construcción y los procedimientos de inspección. El acceso a este tipo de funcionarios varía ampliamente en todo el mundo, y las situaciones locales pueden manejarse de manera diferente. Si no es posible consultar a un profesional, algunas medidas se pueden adoptar en el ínterin, como se detalla en los Anexos C y D.

Ver los Anexos C y D para obtener información detallada sobre las técnicas de mitigación para los propietarios, los ciudadanos y los administradores.

*Para obtener más información:
Referencias 4, 8, 11, 19, 20, 28, 30,
31, 32, y 37*

Parte C. Parte de las obras consultadas / Citadas / Citadas y para continuar la lectura

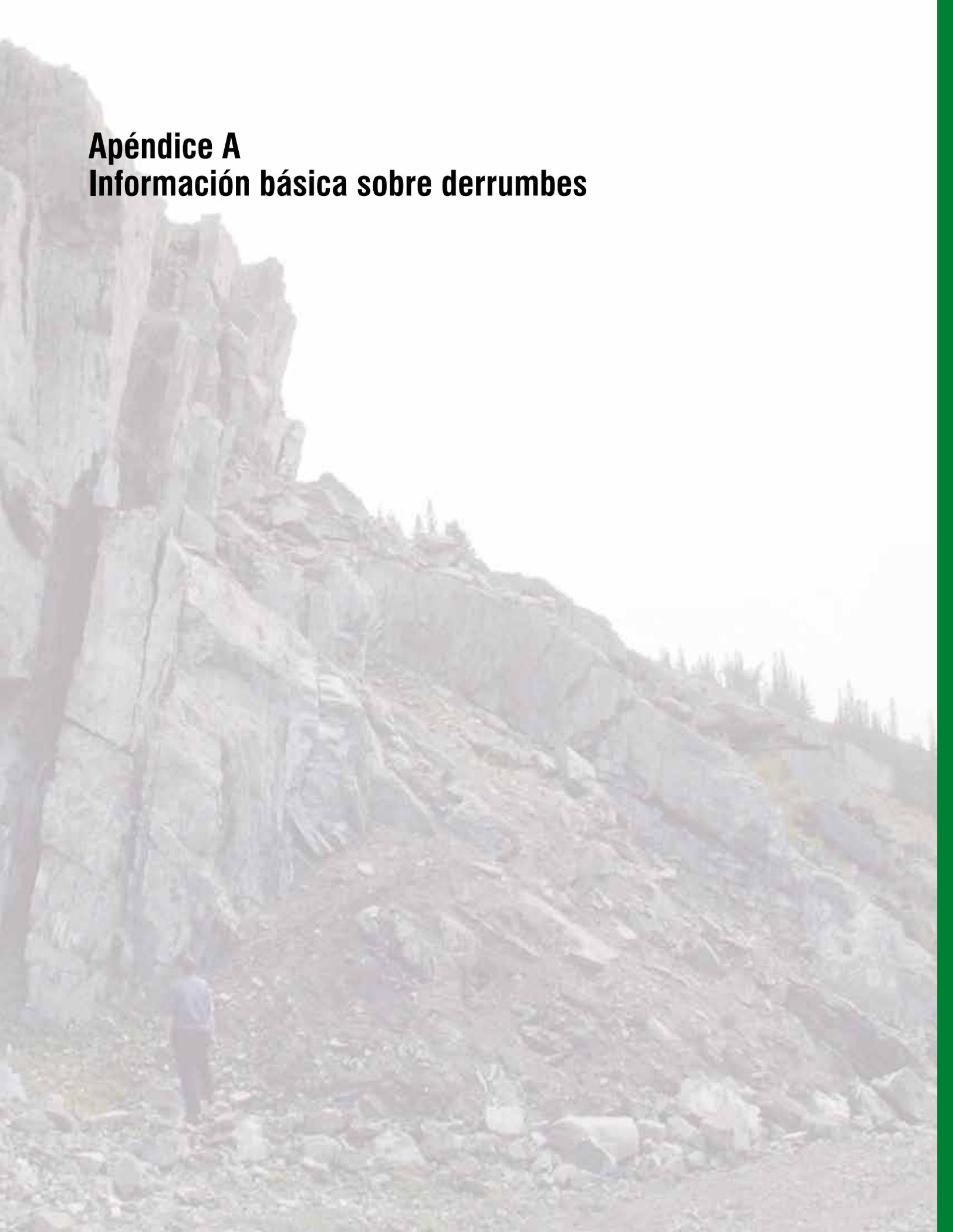
1. Advisory Committee on the International Decade for Natural Hazard Reduction, Commission on Engineering and Technical Systems, 1987, *Confronting natural disasters, an International Decade for Natural Hazard Reduction*, National Research Council: U.S. National Academy of Sciences, Washington, D.C.
2. Aylsworth, J.M., Duk-Rodkin, A., Robertson, T., and Traynor, J.A., 2000, Landslides, in the physical environment of the Mackenzie Valley, Northwest Territories—A baseline for the assessment of environmental change, Dyke, L.D., and Brooks, G.R., eds.: Geological Survey of Canada, Bulletin no. 547, p. 41—48.
3. Barrows, Alan, and Smith, Ted, 2004, Hazards from “mudslides,” debris avalanches and debris flows in hillside and wildfire areas: California Geological Survey Note 33. Online: http://www.consrv.ca.gov/cgs/information/publications/cgs_notes/note_33/index.htm
4. Blake, T.F., Holingsworth, R.A., and J.P. Stewart, eds., 2002, Recommended procedures for implementation of guidelines for analyzing and mitigating landslide hazards in California: Department of Mining and Geology special publication 117 American Society of Civil Engineers (ASCE), Los Angeles Section Geotechnical Group, published by Southern California Earthquake Center (SCEC). Online: <http://www.scec.org/resources/catalog/LandslideProceduresJune02.pdf>
5. California Department of Conservation, Division of Mines and Geology, 1997, Factors affecting landslides in forested terrain, Note 50. Online: http://www.consrv.ca.gov/cgs/information/publications/cgs_notes/note_50/Documents/note50.pdf
6. Case, William F., (no date) Landslides—. What they are, why they occur: Utah Geological Survey, Utah Department of Natural Resources, Public Information Series 74. Online: <http://geology.utah.gov/online/pdf/pi-74.pdf>
7. Case, William F., 2003, Debris-flow hazards: Utah Geological Survey, Public Information Series 70. Online: <http://geology.utah.gov/online/pi-70/debrisflow.htm>
8. Case, William F., 2000, Rock-fall hazards: Utah Geological Survey, Public Information Series 69. Online: <http://geology.utah.gov/online/pdf/pi-69.pdf>
9. Cruden, D.M, and Varnes, D.J., 1996, Landslide types and processes, in Turner, A. Keith, and Schuster, Robert L. eds. *Landslides—Investigation and mitigation: Transportation Research Board, Special report no. 247*, National Research Council, National Academy Press, Washington. D.C, p 36—75.
10. Cruden, D.M., 1993, *The multilingual landslide glossary: Richmond, British Columbia, Canada*, Bitech Publishers, for the UNESCO Working Party on World Landslide Inventory, 1993.
11. Chatwin, S.C., Howes, D.E., Schwab, J.W., and Swanston, D.N., 1994, *A guide for management of landslide-prone terrain in the Pacific Northwest*, second edition: Ministry of Forests, 31 Bastion Square, Victoria, British Columbia V8W3E7, 220 p. Online: <http://www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/docs/Lmh/Lmh18.htm>
12. Creath, W.B., 1996. *Homebuyers’ guide to geologic hazards—An AIPG issues and answers publication: Department of Natural Resources, Denver, Colorado Geological Survey, Miscellaneous Publication (MI) no. 58*, 30 p.
13. Fleming, Robert W., and Taylor, Fred A., 1980, *Estimating the costs of landslide damage in the United States: U.S. Geological Survey Circular 832*, 21p.

14. Gray, D.H., and Sotir, R.B., 1996, Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization—A practical guide for erosion control: New York, John Wiley, 378 p.
15. Haugerud, Ralph A., Harding, David J., Johnson, Samuel Y., Harless, Jerry L., Weaver, Craig S., and Brian L. Sherrod, 2003, High-resolution LiDAR topography of the Puget Lowland, Washington—A Bonanza for earth science: GSA Today, Geological Society of America, p. 4—10.
16. Highland, Lynn, 2004, Landslide types and processes: U.S. Geological Survey Fact Sheet FS—2004—3072. Online: <http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/>
17. Jackson, Julia A., ed., 1997, Glossary of geology, fourth edition: American Geophysical Institute, Alexandria, Virginia, USA, 769 p.
18. Jibson, Randall W., Harp, Edwin L., and Michael, John A., 1998, A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps— An example from the Los Angeles, California, area: U.S. Geological Survey Open-File Report 98—113, 17 p. Online: <http://pubs.usgs.gov/of/1998/ofr-98-113/>
19. Jochim, Candice, Rogers, William P., Truby, John O., Wold, Jr., Robert L., Weber, George, and Brown, Sally P., 1988, Colorado landslide hazard mitigation plan: Department of Natural Resources, Colorado Geological Survey, Denver, Colo., USA.
20. Los Angeles County Department of Public Works, Board of Supervisors, 1993, Homeowner’s guide for flood, debris, and erosion control: Alhambra, California, in English and Spanish. Online: <http://dpw.lacounty.gov/wmdlHomeowners/index.cfm>
21. McInnes, Robin, 2000, Managing ground instability in urban areas, a guide to best practice, Centre for the Coastal Environment, Isle of Wight Council: United Kingdom, Cross Publishing, Walpen Manor, Chale, Isle of Wight.
22. National Research Council, 1993, Vetiver grass—A thin green line against erosion: National Academy Press, Washington, D.C. Online: <http://www.vetiver.org>
23. Nichols, Donald R., and Catherine C. Campbell, eds., 1971, Environmental planning and geology: U.S. Department of Housing and Urban Development, U.S. Department of the Interior, U.S. Government Printing Office.
24. Norheim, Robert A., Queija, Vivian R., and Haugerud, Ralph A., 2002, Comparison of LiDAR and InSAR DEMs with dense ground control: Proceedings, Environmental Systems Research Institute 2002 User Conference. Online: <http://gis.esri.com/library/userconf/proc02/pap0442/p0442.htm>
25. Nuhfer, Edward B., Proctor, Richard J., and Moser, Paul H., 1993. The citizen’s guide to geologic hazards: The American Institute of Professional Geologists, 134 p.
26. Obshansky, Robert B., 1996, Planning for hillside development: American Planning Association (APA), Planning Advisory Service Report n°. 466, 50 p.
27. Pebletiet, B.R., ed., 2000, Environmental atlas of the Beaufort coastlands, supplement to the Marine Science Atlas of the Beaufort Sea: Geological Survey of Canada, Natural Resources Canada. Online: http://gsc.nrcan.gc.ca/beaufort/index_e.php
28. Reid, Mark, and Ellis, William L., 1999, Real-time monitoring of active landslides: U.S. Geological Survey Fact Sheet FS—091—99. Online: <http://pubs.usgs.gov/fs/fs-091-99/>
29. Rickenmann, Dieter, and Cheng-lung Chen, eds., 2003, Debris-flow hazards Mitigation—Mechanics, prediction, and assessment: Millpress, Rotterdam, The Netherlands.
30. Schuster, Robert L., and Highland, Lynn M., 2004, Impact of landslides and innovative landslide-mitigation measures on the natural environment: International Conference on Slope Engineering, Hong Kong, China, December 8-10, 2003, keynote address, Proceedings 29.
31. Schuster, R.L., 2004, Risk-reduction measures for landslide dams, *in* Security of natural and artificial rockslide dams: Extended Abstracts Volume, NATO Advanced research Workshop on Landslide Dams, Bishkek, Kyrgyzstan, June 8-13, p.170—176 [theme keynote paper].

32. Schuster, Robert L., and Highland, Lynn M., 2001, Socioeconomic effects of landslides in the western hemisphere: U.S. Geological Survey Open-File Report 2001-0276. Online: <http://pubs.usgs.gov/of/2001/ofr-01-0276/>
33. Schwab, J.C., Gori, P.L., and Jeer, S., eds., 2005, Landslide hazards and planning: American Planning Association Planning Advisory Service Report n°. 533/534.
34. Shelton, David C., and Prouty, Dick, 1979, Nature's building codes, geology and construction in Colorado: Department of Natural Resources, Colorado Geological Survey Bulletin 48, 72 p.
35. Soeters R., and van Westen, C.J., 1996, Slope instability recognition, analysis, and zonation, in Turner, A.K., and Schuster, R.L. eds., Landslides—Investigation and mitigation: Transportation Research Board Special Report 247, National Research Council, Washington, D.C., p. 129-177.
36. Solomon, Barry J., 2001, Using geologic hazards information to reduce risks and Losses—A guide for local governments: Utah Geological Survey, Public Information Series 75. Online: <http://geology.utah.gov/online/pdf/pi-75.pdf>
37. Swanston, D., ed., 1985, Proceedings of a workshop on slope stability— Problems and solutions in forest management: USDA Forest Service General Technical Report PNW—180, Pacific Northwest Forest and Range Experimental Station, Portland, Oregon, 122 p.
38. Swanston, D.N., 1983, Assessment of mass erosion risk from forest operations in steep terrain: International Association of Forestry Research Organizations Congress, Division 3, Forest Operations and Techniques, Munich, Germany, 1982, Proceedings.
39. Turner, A. Keith, and Schuster, Robert L., 1996, Landslides— Investigation and mitigation: National Research Council, Transportation Research Board Special Report 247, National Academy Press, Washington, D.C., 673 p.
40. United States Agency for International Development, Bureau for Humanitarian Response, Office of Foreign Disaster Assistance, 1998, Field operations guide for disaster assessment and response: U.S. Government Printing Office. Online: http://www.usaid.gov/our_work/humanitarian_assistance/disaster_assistance/resources/pdf/fog_v3.pdf
41. U.S. Geological Survey, 2005, Monitoring ground deformation from space: U.S. Geological Survey Fact Sheet FS—2005—3025. Online: http://volcanoes.usgs.gov/insar/public_files/InSAR_Fact_Sheet/2005-3025.pdf
42. Utah Geological Survey, 2003, Home owner's guide to recognizing and reducing landslide damage on their property: Public Information Series no. 58. Online: <http://geology.utah.gov/online/pi-58/index.htm>
43. Varnes, D.J., 1978, Slope movement types and processes, in Schuster, R.L., and Krizek, R.J., eds., Landslides—Analysis and control: Transportation Research Board Special Report 176, National Research Council, Washington, D.C., p. 11-23.
44. Weber, G., Von Schulez, W., and Czerniak, R., 1983, Flood hazard management plan for the Sheridan watershed area: Sheridan, Wyoming, Geographic Applications and Research Group, Boulder, Colorado.
45. Wiczorek, Gerald F., 1996, Landslide triggering mechanisms, in Turner, A. Keith, and Schuster, Robert L., eds., Landslides— Investigation and mitigation: Transportation Research Board, Special report n°. 247, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., p. 76—90.
46. Wold, Robert L., and Jochim, Candace L., 1989, Landslide loss reduction—A guide for state and local government planning: Special Publication 33, Department of Natural Resources, Colorado Geological Survey, Denver, Colo., 50 p.
47. Yoon, P.K., 1994. Important geological considerations in use of *Vetiver* grass hedgerows (VGHR) for slope protection and stabilization, in Vegetation and slopes— Stabilization, protection and ecology: Proceedings, International Conference Institution of Civil Engineers, University Museum, Oxford, September 29-30, 1994, Thomas Telford, London, p. 212-221.

Apéndice A

Información básica sobre derrumbes



Parte 1. Glosario de términos sobre derrumbes

Las citas completas de las referencias para el glosario se encuentran al final de la lista .

Abanico aluvial: Abanico aluvial: Una masa extendida, con pendiente suave, de aluvión depositada por una corriente, especialmente en una región árida o semiárida donde una corriente sale de un cañón estrecho al piso de una planicie o un valle. Visto desde arriba, tiene la forma de un abanico abierto, con el ápice en la entrada del valle. (Referencia 3)

Agua en los poros o intersticial: el agua subterránea en un intersticio o poro. (Referencia 3)

Aguas subterráneas separadas: agua subterránea no confinada separada de un cuerpo principal subyacente de aguas subterráneas por una zona no saturada. (Referencia 3)

Barro movedizo: Una arcilla que pierde casi toda su resistencia al corte después de haber sido alterada; una arcilla que no muestra ningún aumento apreciable de fuerza después de la remodelación. (Referencia 3)

Coluvión: Un término general que se aplica a los depósitos sueltos sin cohesión, por lo general al pie de una pendiente o un acantilado y llevado allí, principalmente, por la gravedad. (Referencia 2)

Corriente de lodo: Un término general para describir un accidente geográfico que se mueve en masa y el proceso que se caracteriza por una masa de material de tierra que fluye, predominantemente de grano fino, que posee un alto grado de fluidez durante el movimiento. El contenido de agua puede llegar hasta un 60 por ciento. (Referencia 3) Corte: Una deformación resultante de las tensiones que hacen que las partes contiguas de un cuerpo se deslicen una

respecto a la otra en dirección paralela a su plano de contacto. (Referencia 3)

Cuenca de residuos: (a veces llamada sumidero) Un gran estanque excavado en que corre o hacia el que se dirige una corriente de escombros y en el que se disipa rápidamente su energía y deposita su carga. Las graveras abandonadas o canteras de piedra son de uso frecuente como cuencas de escombros. (Referencia 3).

Deslizamiento de lodo: un término impreciso pero muy popular acuñado en California, EE.UU., utilizado con frecuencia por el público en general y los medios de información para describir una amplia gama de acontecimientos, que van desde inundaciones cargadas de escombros a deslizamientos de tierra. No es técnicamente correcto. Por favor, consulte la sección “corriente de lodo,” en la entrada correspondiente del Glosario. (Referencia 5)

Deslizamiento de tierra subacuático (submarino): Condiciones y procesos, o características y depósitos, que existen o se encuentran en o bajo el agua. Generalmente se usa para especificar un proceso que ocurre en tierra (el deslizamiento que se extiende bajo el agua) o que se inicia bajo el agua; por ejemplo, desplomes, deslizamientos gravitacionales. (Referencia 3)

Deslizamientos con frente deltaico: frentes en forma de delta donde la deposición en los deltas es más activa; deslizamientos bajo el agua a lo largo de las regiones costeras y el delta debido a la sedimentación rápida de arcilla poco consolidada, que es baja en resistencia y tiene alta presión en los poros de agua.

Epicentro: el punto de la superficie de la Tierra directamente sobre el foco de un terremoto. (Referencia 3)

Estanque de hundimiento: Un pequeño cuerpo de agua que ocupa una depresión cerrada o hundimiento formado donde una falla activa o el movimiento reciente de un deslizamiento ha impedido el drenaje. (Referencia 3)

Estrés: En un sólido, la fuerza por unidad de área, que actúa sobre cualquier superficie dentro de él, y se expresa de diversas forma en libras o toneladas por pulgada cuadrada, o dinas o kilogramos por centímetro cuadrado; también, por extensión, la presión externa que crea la fuerza interna. (Referencia 3)

Estudios geofísicos: La ciencia de la Tierra, por métodos físicos cuantitativos, en lo que respecta a su estructura, composición y desarrollo. Incluye las ciencias de la geología dinámica y la geografía física y hace uso de la geodesia, geología, sismología, meteorología, oceanografía, el magnetismo y otras ciencias de la Tierra en la recolección e interpretación de datos sobre la Tierra. (Referencia 3)

Extensómetro: Un instrumento para la medición de pequeñas deformaciones, como en las pruebas de estrés. (Referencia 3)

Factor de seguridad: El factor de seguridad se utiliza para proporcionar un margen de diseño sobre la capacidad teórica de diseño para dar cabida a la incertidumbre en el proceso de diseño. La incertidumbre puede ser cualquiera de los componentes del proceso de diseño, incluyendo por ejemplo cálculos y resistencia de

materiales. Por lo general, un factor de seguridad de menos de 1, por ejemplo en una pendiente modificada, indica un fallo potencial, mientras que un factor de seguridad mayor que 1 indica estabilidad. (Referencia 6).

Filtración: el drenaje subterráneo concentrado indicado por manantiales, estanques de hundimiento o áreas húmedas en laderas abiertas y los sitios de infiltración a lo largo de los cortes de carreteras. La ubicación de estas corrientes concentradas debajo de la superficie debe tenerse en cuenta en los mapas y perfiles como sitios potenciales de tierras activas e inestables. (Referencia 2)

Fractura: deformación frágil debida a una pérdida momentánea de cohesión o pérdida de resistencia a la tensión diferencial y una liberación de energía elástica almacenada. Las uniones y las fallas son fracturas. (Referencia 3)

Geología de reconocimiento/ cartografía: un examen general de exploración o estudio de las principales características de una región, por lo general preliminar a un estudio más detallado. Puede hacerse en el campo o en la oficina, dependiendo de la información disponible. (Referencia 2)

Geología superficial: Geología de los depósitos superficiales, incluidos los suelos. El término se aplica a veces al estudio de la roca madre en o cerca de la superficie de la Tierra. (Referencia 3)

Geomorfología: La ciencia que trata de la configuración general de la superficie de la Tierra; en concreto, el estudio de la clasificación, descripción, naturaleza, origen y desarrollo del relieve y su relación con las estructuras subyacentes y la historia de los cambios geológicos registrados a través de estas características de la superficie. (Referencia 3)

Hidráulica: Pertenciente o relativo a los fluidos en movimiento; el transporte, o el accionamiento mediante el agua;

operado o movido por medio del agua, como la minería hidráulica. (Referencia 3)

Hidrología: la ciencia que se relaciona con el agua de la Tierra. (Referencia 3)

Inclinómetro: Instrumento para medir la inclinación sobre la horizontal. (Referencia 3)

Intemperización diferencial: Cuando la erosión a través de una pared de roca o la exposición se produce a un ritmo diferente, debido principalmente a las variaciones en la composición y la resistencia de la roca. Esto produce una superficie irregular en la que resalta el material más resistente. (Referencia 4)

Intemperización o meteorización: El proceso destructivo mediante el cual materiales de tierra y roca expuestos a la atmósfera sufren desintegración física y descomposición química que produce cambios de color, textura, composición o forma. Los procesos pueden ser físicos, químicos o biológicos. (Referencia 4)

Lahar: deslizamiento, corriente de escombros o de lodo, de material piroclástico en el flanco de un volcán; depósitos producidos por una corriente de escombros. Los lahares se conocen como mojados si están mezclados con agua de lluvias fuertes, de un lago en el cráter o del derretimiento de nieve. Los lahares secos pueden ser consecuencia de los temblores de un cono o de la acumulación de material que se ha vuelto inestable en una cuesta empinada. Si el material retiene mucho calor, se denomina un lahar caliente. (Referencia 3).

Lecho de roca: Roca sólida que subyace a grava, arena, arcilla, etc. Cualquier roca expuesta en la superficie de la tierra o cubierta por materiales superficiales no consolidados. (Referencia 3)

Licuefacción: La transformación de suelos saturados, sin apretar, de grano

grueso de estado sólido a líquido. Los granos del suelo pierden temporalmente el contacto con los demás y el peso de las partículas se transfiere al agua de los poros. (Referencia 4)

Litología: El carácter físico de una roca, en general, según se determina a nivel microscópico, o con la ayuda de una lupa de bajo aumento; el estudio microscópico y la descripción de las rocas. (Referencia 3)

Loess: Un depósito amplio y homogéneo, comúnmente no estratificado, poroso, friable, poco cohesionado, por lo general muy calcáreo, de grano fino (generalmente de menos de 30 m de espesor) que consiste en su mayor parte de sedimentos, con tamaños de grano subordinados que van desde montones de arcilla a arena fina. (Referencia 3)

Mapa de peligro de deslizamiento: mapas de peligros que muestran la extensión territorial de los procesos que constituyen amenazas: donde han ocurrido en el pasado procesos de deslizamiento de tierra, dónde se producen ahora y las probabilidades de que se produzca un deslizamiento de tierra en el futuro en diversos sectores. (Referencia 5)

Mapa de riesgo de deslizamientos: riesgos deslizamientos de tierra y la probabilidad de que se produzcan, expresados en tasas de recurrencia estadística. Los mapas de riesgo pueden mostrar relaciones de costo y beneficio, el potencial de pérdidas y otros efectos socioeconómicos en un área y (o) comunidad.

Mapa de susceptibilidad a deslizamientos: Este mapa va más allá de un mapa de inventario y muestra las áreas que tienen potencial para deslizamientos. Estas áreas se determinan por la correlación de algunos de los principales factores que contribuyen a los deslizamientos de tierra, tales como pendientes

pronunciadas, unidades geológicas débiles que pierden fuerza cuando están saturadas y mal drenaje de la roca o el suelo, con la distribución de los últimos deslizamientos de tierra. (Referencia 5)

Mapa geológico: Un mapa en el que se registra la distribución, la naturaleza y las relaciones de edad de las unidades de roca y la presencia de características estructurales. (Referencia 3)

Mapas de inventario de deslizamientos: Inventarios que identifican las áreas que parecen haber fallado por los procesos de los deslizamientos de tierra, incluidas las corrientes de escombros y las fallas de corte y relleno. (Referencia 4)

Mecánica de rocas: La ciencia teórica y aplicada del comportamiento mecánico de las rocas, que representa una “rama de la mecánica que se ocupa de la respuesta de la roca a los campos de fuerza de su entorno físico”. (Referencia 3)

Mecánica de suelos: La aplicación de los principios de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con el comportamiento y la naturaleza de los suelos, sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas; el estudio de las propiedades físicas y la utilización de los suelos, especialmente en relación con la ingeniería de carreteras y los cimientos. (Referencia 3)

Mediciones geodésicas: La investigación de todas las cuestiones científicas relacionadas con la forma y las dimensiones de la Tierra. (Referencia 3)

Medidor de distancia electrónico (MDE): Un dispositivo que emite ondas ultrasónicas que rebotan en los objetos sólidos y vuelven al medidor. El microprocesador del medidor convierte a continuación el tiempo transcurrido en una medida de la distancia. Las ondas de sonido se extienden un pie de ancho

por cada 10 pies medidos. Existen varios tipos.

Meteorización mecánica: Los procesos físicos por los que las rocas expuestas a la intemperie cambian de carácter, se deterioran y se desmoronan, convirtiéndose en tierra. Los procesos incluyen cambios de temperatura (expansión y contracción), ciclos de congelación-descongelación y la actividad de excavación de los animales. (Referencia 4)

Mitigación: Las actividades que reducen o eliminan la probabilidad de que ocurra un desastre y (o) las actividades que disipan o disminuyen los efectos de las emergencias o desastres, cuando se producen. (Referencia 5)

Modelo de Elevación Digital (MED): Un modelo de elevación digital (MED) es un archivo digital que consiste en elevaciones del terreno para posiciones de suelo a intervalos regularmente espaciados horizontalmente (Una definición comercial; nueva tecnología).

Modelo Digital del Terreno (MDT): Término utilizado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos y otras organizaciones para describir los datos digitales de elevación. (Referencia 3)

Peligro geológico: Una condición geológica, ya sea natural o artificial, que representa un peligro potencial para la vida y la propiedad. Ejemplos: terremotos, deslizamientos, inundaciones, fallas, erosión de las playas, hundimientos de tierras, contaminación, eliminación de residuos, fallas de los cimientos y las zapatas. (Referencia 3)

Piezómetro: Un instrumento para medir la carga de presión en un conducto, tanque, o el suelo; es un pozo de agua de pequeño diámetro utilizado para medir la carga hidráulica de las aguas subterráneas en los acuíferos. (Referencia 3)

Presión de agua en los poros: Una medida de la presión producida por la presión de agua en un suelo saturado y trasladada a la base del suelo a través del agua de los poros. Esto es cuantificable en el terreno por medición del nivel de la superficie libre del agua en el suelo o por medición directa de la presión por medio de piezómetros. La presión de agua en los poros es un factor clave en la falla de un terreno con pendiente aguda y opera principalmente mediante la reducción del componente de peso de la resistencia del suelo al corte. (Referencia 2)

Pozo: Un agujero circular perforado en la tierra, a menudo a gran profundidad, como un pozo para prospección de petróleo, gas o agua o con fines de exploración. (Referencia 3)

Presa de deslizamiento: Una presa de tierra que se crea cuando un deslizamiento de tierra bloquea un arroyo o río. (Referencia 3)

Presas de retención: Pequeñas presas de almacenamiento de sedimentos construidas en los canales de barrancos empinados para estabilizar el lecho del canal. Un uso común es el control de la frecuencia y el volumen de la corriente de escombros canalizados. Las presas de retención son costosas de construir y por lo tanto generalmente sólo se construyen cuando se encuentran pendiente abajo instalaciones importantes o hábitat natural (como un campamento o área única de desove). (Referencia 2)

Relieve: La diferencia de elevación entre los puntos altos y bajos de la superficie terrestre. (Referencia 3)

Retiro de los acantilados: Un acantilado formado por la acción de las olas que hace que el acantilado costero se erosione y retroceda hacia tierra. (Referencia 3)

Riesgo: La probabilidad de que ocurra una pérdida o el grado esperado

de pérdida, como resultado de la exposición a un peligro. (Referencia 4)

Sistema de Información Geográfica (SIG): Un programa de ordenador y bases de datos asociadas que permiten consultar la información cartográfica (incluida la información geológica) según las coordenadas geográficas de las características. Por lo general, los datos están organizados en “capas” que representan diferentes entidades geográficas, tales como la hidrología, la cultura, la topografía, y así sucesivamente. Un sistema de información geográfica o SIG permite integrar y analizar fácilmente la información de diferentes capas. (Referencia 3)

Strainmeter (medidor de tensión): Un sismómetro diseñado para detectar deformaciones del terreno midiendo el desplazamiento relativo de dos puntos. (Referencia 3)

Sturzstrom(término alemán para “torrente que cae”): Una enorme masa de restos de rocas y polvo en rápido movimiento, derivada de la caída de un acantilado o montaña, que fluye por las laderas escarpadas y en tierras bajas, a menudo por varios kilómetros a velocidades de más de 100 km/hora. Los Sturzstroms son las formas más catastróficas de todos los movimientos de masas. (Referencia 3)

Subsidencia: Hundimiento o asentamiento hacia abajo de la superficie de la Tierra, que no se limita en tasa, magnitud o zona afectada. La subsidencia puede deberse a procesos geológicos naturales, como solución, compactación o retirada de lava fluida de debajo de una corteza sólida o a la actividad humana como la minería en el subsuelo o el bombeo de petróleo o agua subterránea. (Referencia 3)

Suelos expansivos: Tipos de suelo que se encogen o se hinchan a medida que disminuye o aumenta el contenido de humedad. Las estructuras construidas

en estos suelos pueden cambiar, rajarse y romperse cuando los suelos se encogen y se asientan o se expanden. También conocidos como suelos que se hinchan. (Referencia 5)

Suelos hinchados: suelo o roca suave que aumenta de volumen a medida que se moja y se encoge a medida que se seca. También se les conoce comúnmente como bentonita, suelos expansivos o montmoriloníticos. (Referencia 1)

Superficie del lecho/plano: En las rocas sedimentarias o estratificadas, los planos de división que separan cada capa o lecho sucesivo del que se encuentra encima o abajo. Suele estar marcada por un cambio visible de litología o color. (Referencia 3)

Suspensión o lechada: Una mezcla altamente líquida de agua y material finamente dividido; por ejemplo carbón pulverizado y agua para el movimiento por un ducto o de cemento y agua para su uso en las sisas. (Referencia 3)

Tracción: Un esfuerzo normal que tiende a separar el material en los lados opuestos del plano en el que actúa. (Referencia 3)

Zonificación: Un término que se utiliza por lo general, incluso vagamente, para designar una región de carácter latitudinal más o menos separada de las regiones circundantes por alguna característica distintiva. Por ejemplo, la zona tórrida la Tierra, dos zonas templadas y dos zonas frías. En cuanto a los peligros, las zonas son las áreas geográficas o denominaciones que se diferencian a través de una variedad de diferentes criterios, por ejemplo, zonas residenciales, zonas de baja peligrosidad, zonas de alto riesgo. (Referencia 3).

Referencias para el glosario

1. Creath, W.B., 1996, Homebuyers' guide to geologic hazards: An AIPG issues and answers publication: Department of Natural Resources, Colorado Geological Survey, Miscellaneous Publication (MI) (Guía para compradores de vivienda sobre los riesgos geológicos: Una publicación de AIPG sobre preguntas y respuestas: Departamento de Recursos Naturales, Servicio Geológico de Colorado), Publicación Miscelánea no. 58, 30 p.
2. Chatwin, S.C., Howes, D.E., Schwab, J.W. y Swanston, D.N., 1994, A guide for management of landslide-prone terrain in the Pacific Northwest (Una guía para la gestión de terrenos propensos a deslizamientos de tierra en el noroeste del Pacífico), 2ª edición: Subdivisión de Investigaciones, Ministerio de Bosques, Provincia de British Columbia, Victoria, Columbia Británica, Crown Publications.
3. Jackson, Julia A., ed., 1997, Glossary of geology (Glosario de geología), cuarta edición: Elaborado por el Instituto Geológico de América, Alejandría, Virginia, EE.UU., Doubleday.
4. Jochim, Candice L., Rogers, William P., Truby, John O., Wold, Robert L., Jr., Weber, George y Brown, Sally P., 1988, Colorado landslide hazard mitigation plan (plan de mitigación de riesgos de deslizamientos de Colorado): Departamento de Recursos Naturales, Servicio Geológico de Colorado, Boletín 48.

5. Shelton, David C. y Prouty, Dick, 1979, Nature's building codes, geology and construction in Colorado (Códigos de construcción de la naturaleza, geología y construcción en Colorado): Departamento de Recursos

Naturales, Servicio Geológico de Colorado, publicación especial N° 48, 72 p.

6. Turner, A. Keith y Schuster, Robert L., 1996, Landslides— Investigation and mitigation (Los deslizamientos

de tierra: Investigación y mitigación): National Research Council, Consejo de Investigación del Transporte, Informe Especial 247, National Academy Press, Washington, D.C., 673 p.

Parte 2. Partes de un derrumbe: descripción de rasgos/glosario

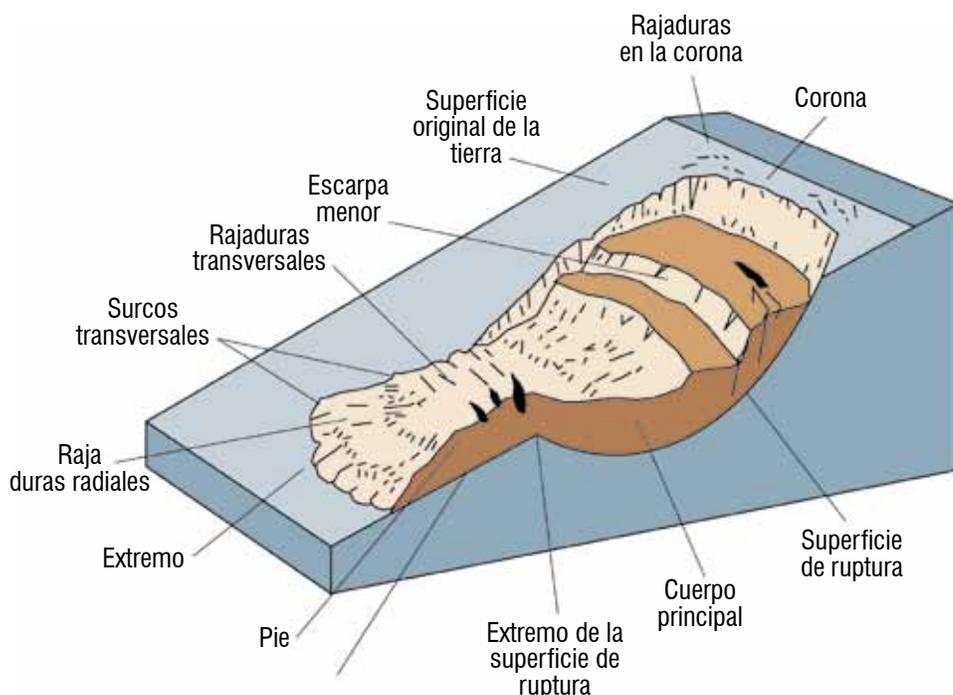


Figura A1. Partes de un deslizamiento de tierra. (Modificado de Varnes, 1978, referencia 43).

Acúmulo: Acumulación: volumen del material desplazado, que se encuentra por encima de la superficie del terreno original.

Corona: El material prácticamente sin desplazar que sigue en su lugar y al lado de las partes más altas de la escarpa principal.

Agotamiento: el volumen delimitado por la escarpa principal, la masa agotada y la superficie original del terreno.

Cabeza: las partes superiores de los deslizamientos de tierra a lo largo del contacto entre el material desplazado y la escarpa principal.

Cima: el punto más alto de contacto entre el material desplazado y la escarpa principal.

Cuerpo principal: la parte del material desplazado del deslizamiento de tierra que cubre la superficie de ruptura entre la escarpa principal y la punta de la superficie de ruptura.

Escarpa menor: una superficie empinada en el material desplazado del derrumbe producido por los movimientos diferenciales dentro del material desplazado.

Escarpa principal: una superficie escarpada sobre el terreno no

perturbado en el borde superior del deslizamiento de tierra, causada por el movimiento del material desplazado lejos de la tierra no perturbada. Es la parte visible de la superficie de rotura.

Extremo de la superficie de rotura: la intersección (por lo general enterrada) entre la parte inferior de la superficie de ruptura de un deslizamiento de tierra y la superficie original del terreno.

Extremo: el margen más bajo, por lo general curvado del material desplazado de un deslizamiento de tierra. Es el más distante de la escarpa principal.

Flanco: el material no desplazado adyacente a los lados de la superficie de ruptura. Las direcciones de la brújula son preferibles para la descripción de los flancos, pero si se utilizan izquierda y derecha, éstas se refieren a los costados como se ven desde la corona.

Masa empobrecida: el volumen del material desplazado, que cubre la superficie de ruptura, pero está debajo de la superficie original del terreno.

Material desplazado: material desplazado de su posición original en la ladera por el movimiento del deslizamiento de tierra. Forma la masa empobrecida y la acumulación.

Pie: la parte del deslizamiento que se ha desplazado más allá de la punta de la superficie de ruptura y cubre la superficie original del terreno.

Punta: el punto más extremo desde la parte superior del deslizamiento.

Superficie de rotura: la superficie que forma (o que ha formado) el límite inferior del material desplazado debajo de la superficie original del terreno.

Superficie de separación: la parte de la superficie original recubierta de tierra por el pie del deslizamiento.

Superficie original de la tierra: superficie de la pendiente que existía antes del derrumbe.

Zona de acumulación: la zona del derrumbe en la cual el material desplazado se encuentra por encima de la superficie original del terreno.

Zona de agotamiento: la zona del deslizamiento de tierra en la cual el material desplazado se encuentra debajo de la superficie original del terreno.

Fuentes de información sobre la nomenclatura:

1. Cruden, DM, 1993: Richmond, Columbia Británica, The multilingual landslide glossary (Glosario multilingüe sobre derrumbes): Richmond, British Columbia, Editores Bitech, por el Grupo de Trabajo de la IUGS sobre el Inventario mundial de deslizamientos en 1993.
2. Varnes, DJ, 1978, los tipos y procesos de movimiento de la pendiente, en Schuster, RL, y Krizek, RJ, eds, Landslides— Analysis and control (Deslizamientos de tierra: Análisis y control): Transportation Research Board Informe Especial 176, National Research Council, Washington, DC, p. 11-23.

Parte 3. Causas y mecanismos desencadenantes de los derrumbes

Causas físicas, desencadenantes

- Lluvias intensas
- Derretimiento rápido de la nieve
- Precipitación intensa prolongada
- Vaciado rápido (por inundaciones y mareas) o llenado rápido
- Terremoto
- Erupción volcánica
- Deshielo
- Intemperización por congelación y descongelación
- Intemperización por encogimiento e hinchazón
- Inundaciones

*Lecturas adicionales:
Referencias 9, 3 y 45*

Causas naturales

Causas geológicas

- Materiales débiles, como algunas laderas volcánicas o sedimentos marinos no consolidados
- Materiales susceptibles
- Materiales intemperizados
- Materiales con cortes
- Materiales con juntas o fisuras
- Discontinuidad adversamente orientada de la masa (esquistosidad del lecho, etcétera)
- Discontinuidad estructural orientada adversamente (falla, falta de conformidad, contacto, etcétera)
- Contrastes en la permeabilidad
- Contrastes en la firmeza (material firme y denso sobre materiales plásticos).

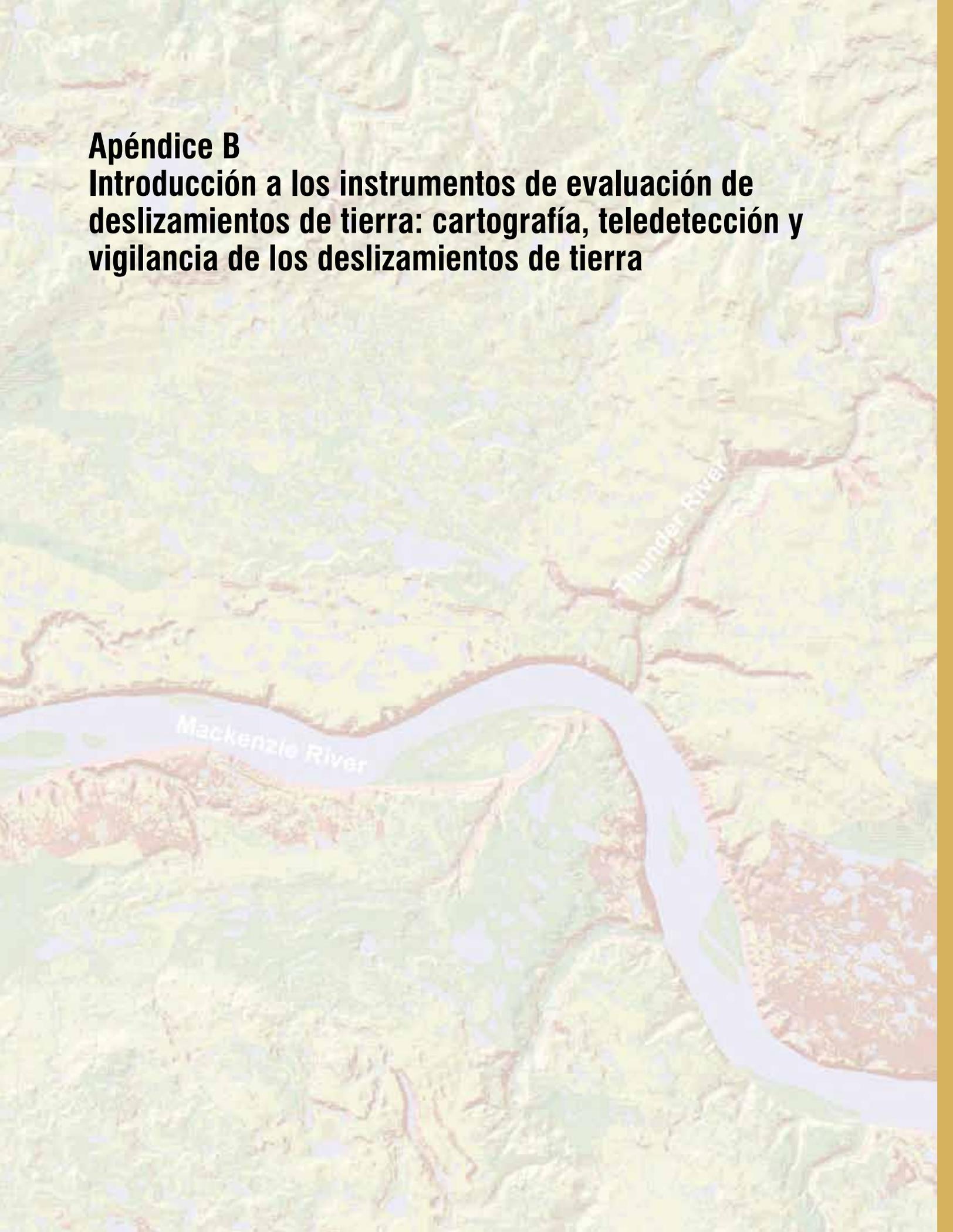
Causas morfológicas

- Levantamiento tectónico o volcánico
- Rebote del hielo
- Salida repentina del agua del derretimiento del hielo
- Erosión fluvial del extremo de la ladera
- Erosión del extremo de la ladera por olas
- Erosión glacial del extremo de la ladera
- Erosión de los márgenes laterales
- Erosión subterránea (solución, entubado)
- Deposición que carga la ladera o su cresta
- Eliminación de la vegetación (por in

Causas humanas

- Excavación de la ladera o su extremo
- Uso de relleno de tierra inestable para la construcción
- Recargar la ladera o su cresta, por ejemplo colocando relleno de tierra en la parte de arriba de una ladera
- Vaciado y llenado (de embalses)
- Deforestación: tala de árboles para madera y (o) para sembrar cultivos; caminos madereros inestables
- Riego de cultivos y jardines
- Minería/contención de escombros mineros
- Vibración artificial, por ejemplo para sembrar pilotes, explosiones u otras vibraciones fuertes del suelo
- Fugas de agua de servicios públicos, tales como tuberías de agua o desagües
- Desvío (planeado o no planeado) de la corriente de un río o corriente a lo largo de la costa debido a la construcción de muelles, diques, presas, etcétera

Apéndice B
Introducción a los instrumentos de evaluación de
deslizamientos de tierra: cartografía, teledetección y
vigilancia de los deslizamientos de tierra



Parte 1. Cartografía

Los mapas son una herramienta útil y conveniente para la presentación de información sobre los riesgos de deslizamientos. Se pueden presentar muchos tipos y combinaciones de información a diferentes niveles de detalle. mapas de peligros se utiliza junto con los mapas de uso del suelo son una valiosa herramienta de planificación. Por lo general, hay un enfoque en tres etapas a la cartografía de deslizamientos de peligro. La primera etapa es el desarrollo regional o de reconocimiento de asignación, que sintetiza los datos disponibles y se identifican las áreas problema general. Esta escala regional (a veces llamada “pequeña escala”) la cartografía se realiza generalmente mediante una encuesta provincial, estatal o federal geológico. La siguiente etapa es la cartografía a nivel comunitario, una superficie más detallada y programa de mapas del subsuelo en áreas con problemas complejos. Por último, dispone de mapas detallados a gran escala propias de esos lugares están preparados. Si los recursos son limitados, puede ser más prudente pasar por alto la cartografía regional y se concentran en unas pocas áreas preocupantes conocidas. Se discuten tres tipos de mapas generales, (1) regional, (2) a nivel comunitario, y (3) del sitio específico.

Cartografía regional

Los mapas regionales o de reconocimiento suministran datos básicos para la planificación regional al proporcionar información de base para la realización de estudios más detallados a los niveles de la comunidad y específicos para el sitio y para el establecimiento de prioridades para la cartografía en el futuro.

Estos mapas son por lo general simples mapas de inventario o susceptibilidad y se usan principalmente para la identificación y delimitación de las zonas regionales donde existe el problema de los deslizamientos y las condiciones en que se producen. Se concentran en las unidades geológicas o entornos en los que los movimientos adicionales son más probables. La extensión geográfica de los mapas regionales puede variar de un mapa de un Estado o provincia a un mapa nacional, que delimita un país entero. Estos mapas dependen en gran medida de la fotogeología (la interpretación geológica de la fotografía aérea), la cartografía de reconocimiento de campo y la recopilación y síntesis de todos los datos geológicos pertinentes disponibles. Las escalas de los mapas a este nivel suelen ser escalas que van desde 1:10.000 hasta 1:4,000,000 o incluso menores.

La cartografía a nivel comunitario

Este tipo de cartografía identifica el potencial tridimensional de deslizamientos y considera sus causas. En esta etapa también se da orientación sobre el uso de la tierra, la zonificación y la construcción y se dan recomendaciones sobre futuras investigaciones propias de ese lugar. Las investigaciones deben incluir el trabajo de exploración del subsuelo para producir un mapa con secciones transversales. Las escalas de los mapas a este nivel varían de 1:1.000 a 1:10.000.

Cartografía en sitios específicos

La cartografía en sitios específicos se refiere a la identificación, análisis y solución de los problemas específicos del lugar, presentados a menudo en el tamaño de un lote residencial. Por lo general la realizan consultores privados para los propietarios que se proponen urbanizar el sitio y por lo general implica un programa de perforación detallado, con pozo de registro, muestreo y análisis de laboratorio a fin de obtener la información necesaria para el diseño y la construcción. Las escalas de los mapas varían, pero normalmente son de alrededor de 1:600 o 25 mm (1 pulgada) igual a 16 m (50 pies).

Tres criterios importantes para mapas de deslizamientos de tierras

Los tres tipos de mapas de deslizamientos de más gran utilidad para los planificadores y el público en general son: (1) los inventarios de deslizamientos de tierra, (2) los mapas de susceptibilidad a deslizamientos, y (3) los mapas del riesgo de deslizamientos de tierra.

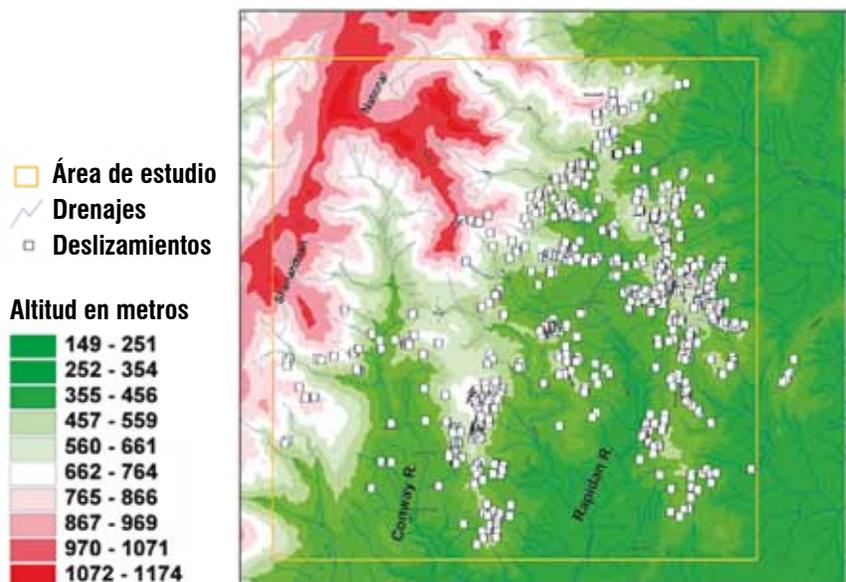
Mapas de inventario de deslizamientos

Los inventarios indican las áreas en las que se identifican fallas debidas a procesos de deslizamiento (Fig. B1). El nivel de detalle de estos mapas va desde los inventarios de reconocimiento simple que sólo delimitan zonas amplias donde parece haber habido deslizamientos hasta inventarios complejos que representan y clasifican cada uno de deslizamientos y muestran escarpes, zonas de agotamiento y acumulación, deslizamientos activos e inactivos, la edad geológica, la tasa de movimiento y (u) otros datos pertinentes sobre la profundidad y naturaleza de los materiales que intervinieron en el deslizamiento.

Los inventarios simples dan una idea general de la extensión de la zona de ocurrencia de deslizamientos y destacan las zonas donde deberían llevarse a cabo estudios más detallados. Los inventarios detallados proporcionan una mejor comprensión de los diferentes procesos de deslizamiento de tierra que operan en un área y se pueden utilizar para regular o impedir la urbanización de las zonas propensas a deslizamientos y ayudar al diseño de medidas correctoras. También proporcionan una buena base para la preparación de mapas derivados, como los que indican la estabilidad de los taludes, califican el peligro de derrumbe y sirven para identificar el uso de la tierra. Una forma es utilizar la fotografía aérea con control selectivo del campo para la detección de áreas de deslizamientos y luego presentar la información en forma de mapa usando un formato codificado. Los mapas muestran algunos o todos de los siguientes: estado de actividad, la certidumbre de la identificación, los tipos dominantes de movimiento de las pendientes, el espesor estimado del material de los derrumbes, el tipo de material y las fechas o los períodos de actividad.

En los Estados Unidos, los mapas regionales se preparan más a menudo a una escala de 1:24.000 (1:50.000 en Canadá), porque se cuenta con mapas de levantamiento topográfico de base de alta calidad del Servicio Geológico de los Estados Unidos a esta escala y las fotografías aéreas suelen estar a una escala comparable. Otras escalas de uso común en los Estados Unidos, por ejemplo, incluyen 1:50.000 (serie de condado), escala 1:100.000 (series de 30 × 60 minutos), y 1:250.000 (series de 1 × 2 grados).

Figura B1. Ejemplo de un mapa de inventario de deslizamientos que muestra las localizaciones de los deslizamientos del pasado con información topográfica que consiste en la elevación (en metros) y los cursos de drenaje (mapa del Servicio Geológico de los Estados Unidos).



Mapas de susceptibilidad a los deslizamientos

Un mapa de susceptibilidad a los deslizamientos va más allá de un mapa de inventario y muestra las áreas que tienen el potencial de deslizamientos (fig. B2). Estas áreas se determinan por la correlación de algunos de los principales factores que contribuyen al deslizamiento (tales como laderas escarpadas, unidades geológicas débiles que pierden fuerza cuando se saturan o se perturban y mal drenaje de la roca o el suelo) con la distribución de deslizamientos de tierra del pasado. Estos mapas indican sólo la estabilidad relativa de la pendiente; no hacen predicciones absolutas.

Los mapas de susceptibilidad a deslizamientos pueden considerarse como derivados de los mapas de inventario de deslizamientos debido a que un inventario es esencial para la preparación de un mapa de susceptibilidad. Por ejemplo, superponer un mapa geológico con un mapa de inventario que presenta los deslizamientos existentes puede identificar unidades geológicas específicas propensas a deslizamientos. Esta información puede extrapolarse a otras áreas para predecir deslizamientos potenciales. Mapas más complejos pueden incluir información adicional, por ejemplo el ángulo y el drenaje de la pendiente

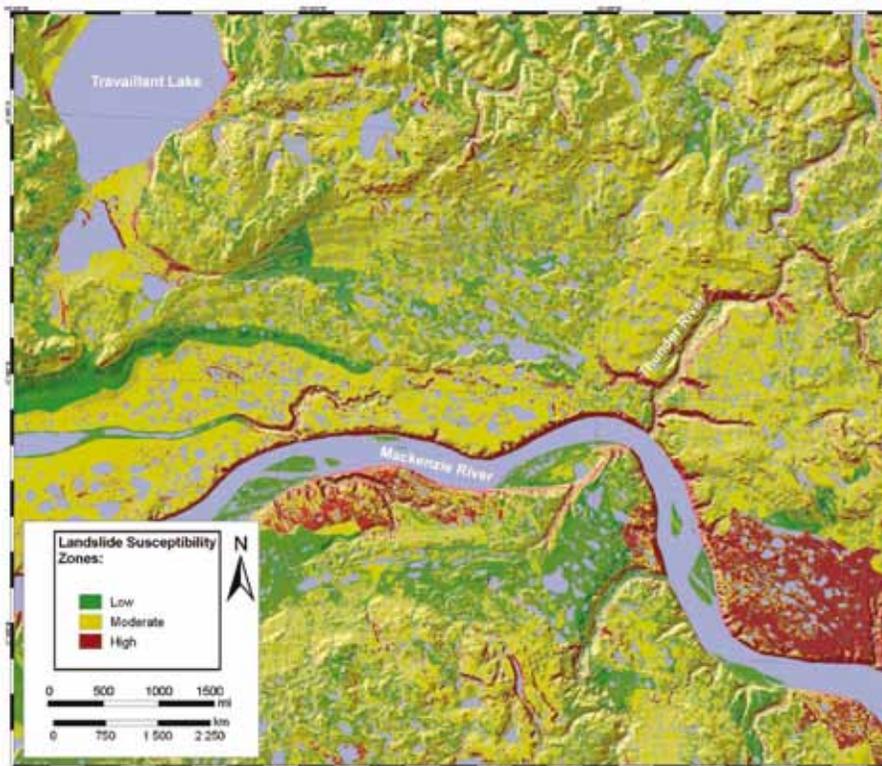


Figura B2. Un ejemplo de un mapa de susceptibilidad a deslizamientos. Este mapa muestra una zona en Canadá, el valle del río Mackenzie, Territorios del Noroeste. Gráfico por Réjean Couture, Servicio Geológico de Canadá.

Mapas de riesgo de deslizamientos

Los mapas de riesgo muestran el grado de peligro para los procesos de riesgo (fig. B3): donde han ocurrido en el pasado los procesos de deslizamientos, los sucesos recientes, y lo más importante, el riesgo en diversos sectores de que se produzca un deslizamiento de tierra en el futuro. Para una zona determinada, los mapas de riesgo contienen información detallada sobre los tipos de deslizamientos de tierras, la extensión de la pendiente sujetas a fallas, y la extensión máxima probable del movimiento del suelo. Estos mapas pueden usarse para predecir el grado relativo de riesgo en una zona de deslizamientos. Las áreas pueden ordenarse en una jerarquía, por ejemplo zonas de riesgo bajo, moderado y alto.

*Ver referencias de cartografía y lectura adicional:
4, 12, 18, 19, 21, 25, 29, 33, 34, 35,
41 y 46*

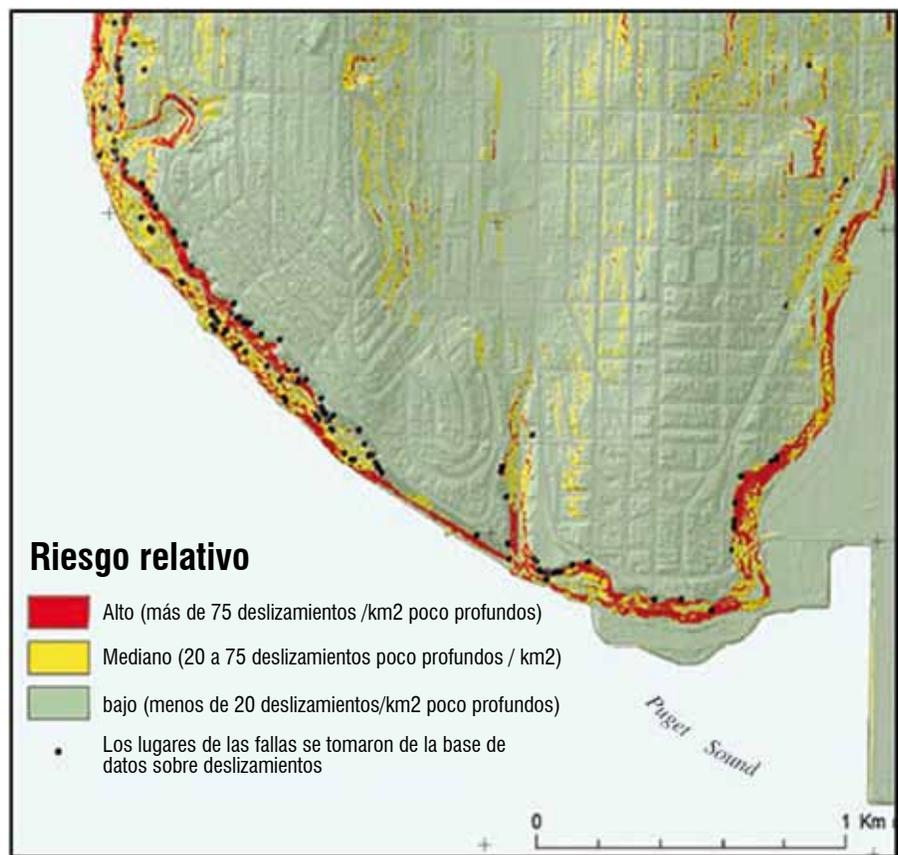


Figura B3. Parte del mapa de riesgo de deslizamientos superficiales que muestra parte de la zona Magnolia de la ciudad de Seattle, Estado de Washington, Estados Unidos, en km².

Parte 2. Teledetección y otras herramientas que muestran los rasgos de la actividad de los deslizamientos

A veces se superponen unos a otros mapas y otras formas de información utilizando un SIG (Sistema de Información Geográfica) para que los diferentes tipos de información se puedan ver todos a la vez. A falta de un sistema informatizado de SIG, se pueden hacer transparencias de cada mapa y luego se pueden sobreponer juntos. Es importante que los mapas y los datos estén a la misma escala. La lista siguiente describe muchos tipos de información que podrían ser útiles en la construcción de capas para el análisis de SIG de posibles deslizamientos de tierra.

- **Mapa Topográfico:** Indica la pendiente del terreno, la configuración del terreno, el patrón de drenaje.
- **Mapa del terreno:** Identifica el material, la profundidad, los procesos geológicos, la configuración del terreno, la superficie y el drenaje del subsuelo, el gradiente de la pendiente (también llamada geología de superficie o mapas de geología del Cuaternario).
- **Mapa del lecho de roca:** Identifica el tipo de lecho de roca, la superficie y la estructura del subsuelo, la cubierta de superficie (sobrecarga), y la edad de la piedra sobre un mapa topográfico básico.
- **Mapa de ingeniería del suelo:** Identifica el tipo de material de la superficie, el drenaje, características limitadas de ingeniería, las características de los suelos, la cubierta vegetal.
- **Mapa de cobertura forestal:** Identifica la vegetación de la superficie, las características topográficas, el patrón de drenaje superficial, y en algunos casos, el tipo de drenaje del suelo.
- **Estudios de investigación:** Pueden proporcionar información sobre todo lo anterior, además de datos cuantitativos sobre factores de control y, posiblemente, la evaluación de los riesgos de estabilidad local.
- **Teledetección con Fotografía aérea:** (Los ejemplos se muestran en las figuras. B4 a B7) Se puede identificar la cubierta vegetal, la topografía, el patrón de drenaje, el tipo de drenaje del suelo, la geología del lecho de roca, la geología superficial, el tipo de deslizamientos y la relación con otros factores. El estudio cuidadoso de una determinada área de terreno con la ayuda de fotografías aéreas oblicuas y pares estereoscópicos verticales pueden proporcionar información importante sobre el tipo y la frecuencia de los deslizamientos y los efectos de las prácticas de gestión. Una revisión de fotografías aéreas recientes y antiguas de la zona debe realizarse siempre que sea posible, ya que los deslizamientos mayores pueden no ser evidentes en fotografías más recientes. Características perceptibles en las fotografías aéreas pueden ayudar a los usuarios a identificar el tipo de deslizamiento de tierra y efectuar una evaluación

razonable de las características de la sobrecarga. Esto, a su vez, ofrece un medio para estimar el riesgo de deslizamiento de tierra en un sitio.

- **Imágenes de InSAR:** InSAR es la sigla en inglés de radar de interferometría de apertura sintética. InSAR y LIDAR (que se describe a continuación) utilizan sensores activos que emiten un pulso de energía (desde un satélite) y la grabación de su regreso, desde el suelo, en el sensor. La mayoría del equipo InSAR es capaz de penetrar la niebla y la lluvia y se puede utilizar en zonas de difícil acceso a pie. Al rebotar en la tierra las señales de radar de un satélite, digital (DEM) se pueden producir mapas del modelo de elevación numérica que muestran los accidentes del terreno. Dos imágenes del mismo lugar se toman en distintos momentos y luego se fusionan, formando un mapa llamado un interferograma. La fusión de las dos imágenes muestra el desplazamiento de la tierra (en su caso), que indica todo movimiento que se haya producido entre el momento en que se tomaron las dos imágenes. De esta manera, se puede determinar si una ladera, por ejemplo, se ha movido. Un radar común de un satélite en órbita alrededor de la Tierra tiene una resolución muy mala en el suelo, de alrededor de 3 a 4 millas, debido al tamaño limitado de la antena del satélite. El Radar de Apertura Sintética (SAR) aprovecha el movimiento de la nave espacial a lo largo de su trayectoria orbital para reconstruir matemáticamente (sintetizar) una antena operativamente más grande vista y producir una capacidad de imagen de alta resolución espacial del orden de cientos de pies.



Figura B4. Ejemplo de una fotografía aérea del deslizamiento de La Conchita, en California, EE.UU., realizada en 2005. La línea azul delinea un deslizamiento de tierra de más edad, la línea amarilla un deslizamiento de tierra más reciente. (Fotografía por cortesía de AirPhoto USA y el Condado de Ventura, California, y Randy Jibson, Servicio Geológico de los Estados Unidos).

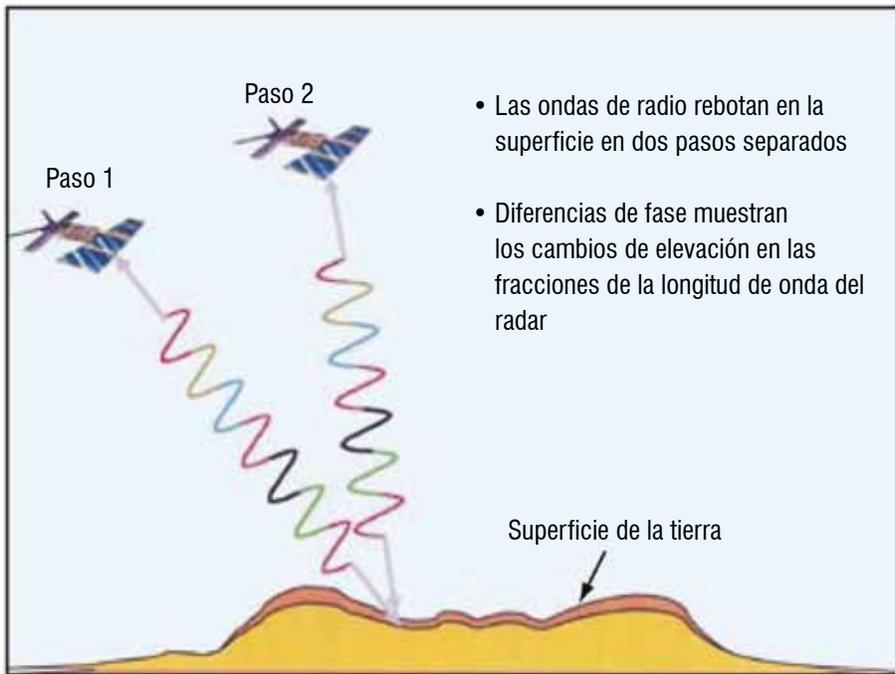


Figura B5. Esquema que muestran los pases del satélite por una zona de la superficie de la Tierra (gráfica modificada de la referencia 41).

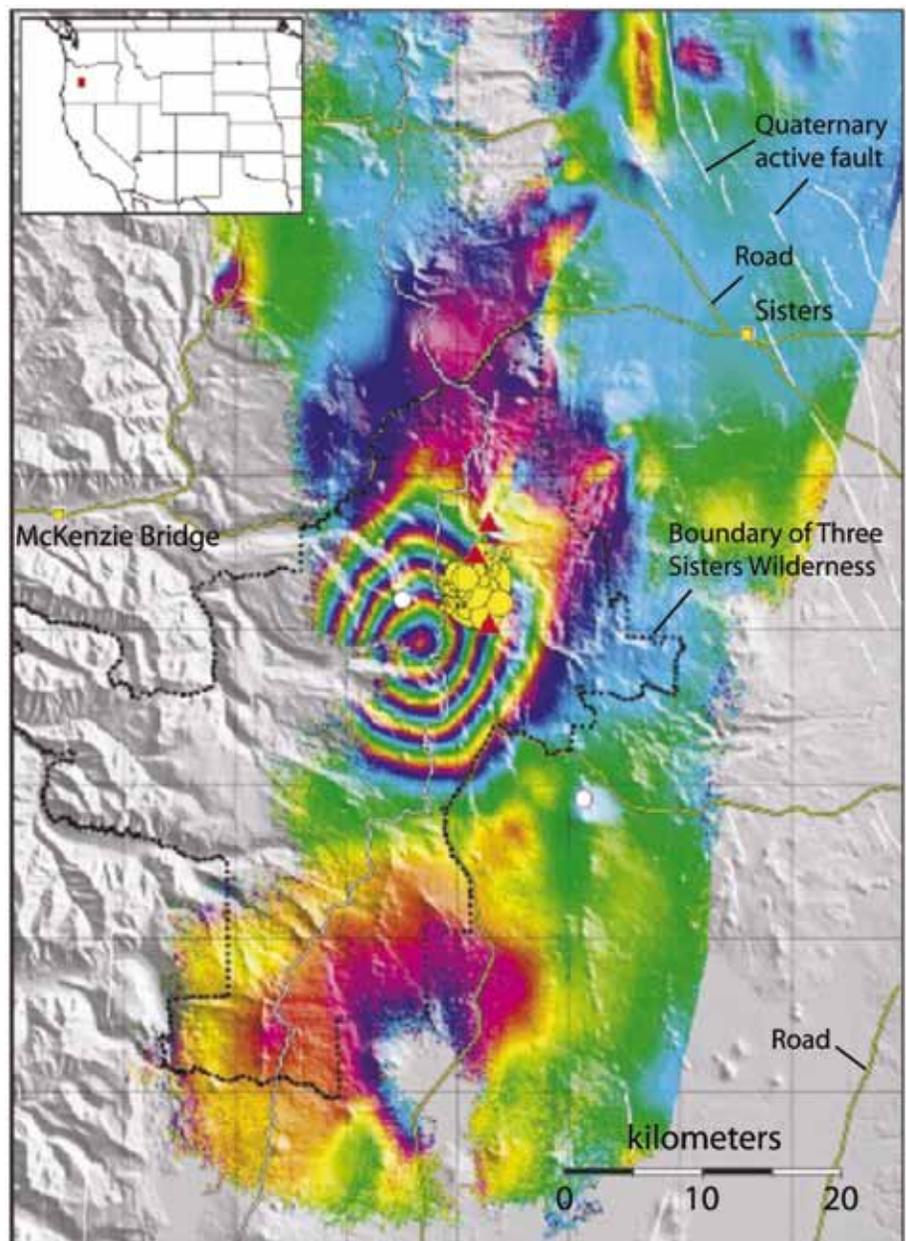


Figura B6. Interferograma del proceso de imagen InSAR que muestra el área de levantamiento (1997-2001) de los volcanes Tres Hermanas (triángulos rojos) en la Cordillera de las Cascadas en el centro de Oregon, EE.UU. (Los círculos muestran la ubicación de los terremotos). (Fotografía modificada de la referencia 41).

- Imágenes de LiDAR:** LiDAR es la sigla en inglés de Detección y Alcance de Luz, también conocido como Cartografía Aérea de Franjas de Láser, o ALSM por sus siglas en inglés. Usando un rayo láser estrecho para sondear a través de cubiertas vegetales densas, como los árboles, el LiDAR puede producir mapas precisos del terreno, incluso cuando la cubierta forestal se interpone en el camino de la fotografía tradicional. La técnica produce un mapa de Modelo de Elevación Numérica (DEM) de gran precisión (fig. B7). DEMs precisos de la tierra desprovista de vegetación se pueden producir cuando las imágenes se adquieren durante la temporada en que no hay hojas en las áreas cubiertas por bosques de hoja caduca. Elementos esenciales de un sistema de cartografía LiDAR son un telémetro láser de barrido montado en un avión, un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) diferencial para localizar la aeronave y una unidad de medida interior (IMU) para medir la orientación de las aeronaves. LiDAR es una herramienta útil de cartografía topográfica por tres razones. La primera es la exactitud. La segunda es la productividad; la medición se efectúa a razón de entre 10.000 y 80.000 pulsos de láser por segundo. En tercer lugar, Lidar es monoscópico y proporciona su propia iluminación. Estas características superan los principales inconvenientes de la fotogrametría en terrenos forestales. Los mapas producidos por Lidar son muy claros y detallados y en muchos casos revelan indicios de deslizamientos de tierra del pasado que son prácticamente invisibles por otros medios debido a la cobertura vegetal densa. El LiDAR es costoso y sumamente técnico y lo utilizan principalmente organismos gubernamentales, universidades y algunas entidades privadas. Una desventaja es que muchos sistemas LIDAR utilizan un láser casi infrarrojo que no penetra la niebla o la lluvia.

Consultar referencias sobre la teledetección y otras referencias de cartografía y lecturas adicionales en: 4, 12, 14, 15, 18, 19, 21, 24, 35, 39 y 41

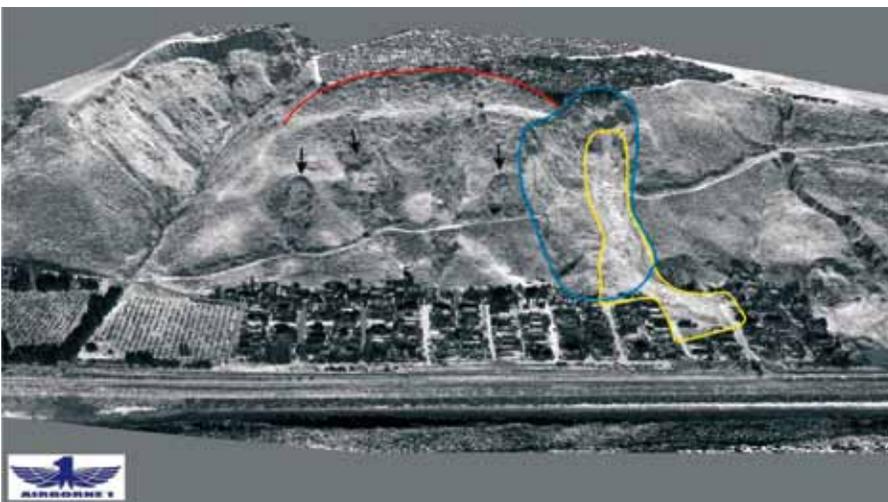


Figura B7. Una imagen de LiDAR oblicua de los deslizamientos de tierra de La Conchita, California, EE.UU., realizada en 2005. Se muestran los contornos de deslizamientos de tierras de 1995 (azul) y 2005 (amarillo); las flechas muestran ejemplos de otros deslizamientos de tierra en la zona; la línea roja esboza el escarpe principal de un antiguo derrumbe que afectó el acantilado entero. (Fotografía de Airborne 1, El Segundo, California, EE.UU., y Jibson Randy, Servicio Geológico de los Estados Unidos).

Parte 3. Control en tiempo real de deslizamientos de tierra e Instrumentación de deslizamientos

La detección inmediata de la actividad de deslizamiento de tierra que proporcionan los sistemas de tiempo real puede ser crucial para salvar vidas humanas y proteger la propiedad. Observaciones de campo tradicionales, incluso si se hacen con regularidad, no pueden detectar los cambios en el momento que ocurren. Por otra parte, puede ser peligroso trabajar en deslizamientos activos y los grandes movimientos ocurren a menudo durante las tormentas cuando la visibilidad es mala. Los datos continuos proporcionados por el seguimiento a distancia en tiempo real permiten una mejor comprensión del comportamiento dinámico del deslizamiento de tierra que, a su vez, permite a los ingenieros crear diseños más eficaces para prevenir o detener los deslizamientos. El seguimiento de los deslizamientos puede ser costoso y la mayoría de los sistemas de control requiere la instalación por expertos. La ventaja es que los sistemas que detectan el movimiento de los deslizamientos de tierra se pueden coordinar con los sistemas de alerta.

*Para obtener más información:
Referencias 4, 21, 25, 28, 35, 38, 39
y 46*



Figura B8. Medición del movimiento de los deslizamientos utilizando un extensómetro, un instrumento que puede detectar el movimiento de la superficie del suelo entre el suelo estable y el deslizamiento de tierra. (Fotografía de Richard LaHusen, Servicio Geológico de los Estados Unidos.)



Figura B9. Prueba de un sistema de radioteleetría accionado por energía solar para la transmisión a distancia de datos sobre deslizamientos de tierra en tiempo real. (Fotografía de Mark Reid, Servicio Geológico de los Estados Unidos).

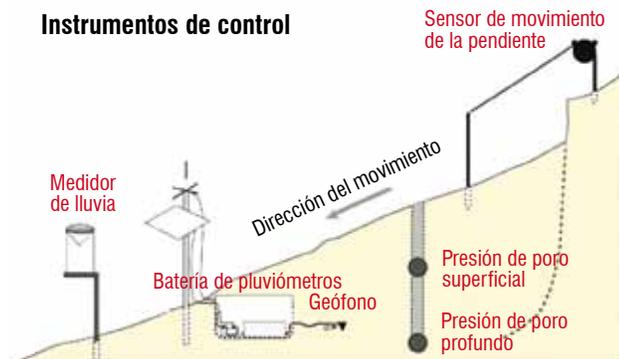


Figura B10. Ejemplo de una red para la medición y transmisión de datos sobre deslizamientos de tierra en tiempo real. (Esquema del Servicio Geológico de los Estados Unidos)

Apéndice C

Introducción a la estabilización y mitigación de los deslizamientos

Nota: Gran parte del material que sigue sobre métodos para la estabilización de pendientes se ha reproducido directamente de la “Guía para el manejo de terrenos propensos a deslizamientos en el Noroeste del Pacífico”, publicado por la Subdivisión de Investigación del Ministerio de Bosques, Columbia Británica, Canadá. Sin embargo, este volumen contiene una visión mucho más amplia de la mitigación y es altamente recomendado por los autores para aquellos que deseen información más detallada sobre las medidas de mitigación. Véase en referencia 11, Chatwin y otros, la cita completa de la publicación.

Parte 1. Estabilización/mitigación de las pendientes

Algunas de las técnicas de estabilización con que se cuenta actualmente en América del Norte se presentan en esta sección. Destacamos métodos sencillos que se pueden utilizar con seguridad en la ausencia de análisis detallados del suelo o lecho de roca o en situaciones de bajo riesgo. Algunos métodos de estabilización son muy caros y su aplicación toma mucho tiempo. Esta es una descripción de métodos de estabilización; se usan muchos otros métodos en todo el mundo. Es esencial el asesoramiento profesional antes, durante y después de la ejecución (de ser posible), así como la consulta de literatura adicional.

La estabilidad de una pendiente mejora cuando se llevan a cabo ciertas acciones. Para tener éxito, primero hay que identificar el proceso de control más importante que está afectando la estabilidad del talud; en segundo lugar, hay que determinar la técnica adecuada que debe aplicarse suficientemente para reducir la influencia de ese proceso. La mitigación prescrita debe diseñarse de manera que se adapte a las condiciones específicas de la pendiente que se esté estudiando. Por ejemplo, instalar tuberías de drenaje en una pendiente que tiene muy poca agua subterránea no tiene sentido. Los esfuerzos por estabilizar una pendiente se realizan durante la construcción o cuando surgen problemas de estabilidad de forma inesperada después de la construcción. La mayoría de las técnicas de ingeniería de pendientes requieren un análisis detallado de las propiedades del suelo y un conocimiento adecuado de la mecánica del suelo y las rocas subyacentes.

En toda situación de alto riesgo, donde un deslizamiento de tierras puede poner en peligro vidas o afectar negativamente la propiedad, siempre es necesario consultar a un profesional experto en derrumbes, por ejemplo un ingeniero geotécnico o civil antes de emprender cualquier trabajo de estabilización.

En las secciones siguientes se ofrece una introducción general a las técnicas que se pueden utilizar para aumentar la estabilidad del talud.

Excavación

Figuras C1, C2, y C3 se proporciona una vista transversal esquemática de los principios generales para la excavación de la pendiente, que muestra los efectos y las consecuencias de donde se lleva a cabo la excavación en una pendiente. Estos gráficos son de carácter general, y siempre que sea posible se debe consulta a un ingeniero geotécnico u otro profesional.

Remoción de tierra de la cabeza de un deslizamiento

Este método reduce la fuerza motriz y por lo tanto mejora la estabilidad. Este método es adecuado sólo para hacer cortes en suelos profundos donde se pueden producir derrumbes de rotación (ver “Tipos básicos deslizamientos de tierra” en la sección I). Es ineficaz en las fallas de traslación en pendientes prolongadas, uniformes o en plano o en deslizamientos de tierra que corren.

Reducción de la altura de la pendiente

La reducción de la altura de un banco cortado reduce la fuerza impulsora en el plano de falla al reducir el peso de la masa del suelo y suele suponer la creación de una vía de acceso por encima de la carretera principal y la formación de un talud inferior por excavación. También es posible excavar profundamente y bajar la superficie de la carretera principal si el derecho de vía atraviesa la parte superior de un deslizamiento de tierra. Este método sólo es moderadamente eficaz para aumentar la estabilidad, y una solución completa puede requerir la modificación adicional de la tierra. Según Chatwin (Referencia 11), por lo general sólo aumenta el factor de seguridad un 10 o 15 por ciento. (“Factor de seguridad” en su definición simple es la relación entre la fuerza máxima de un trozo de material o una parte de la carga máxima probable que se le aplique.)

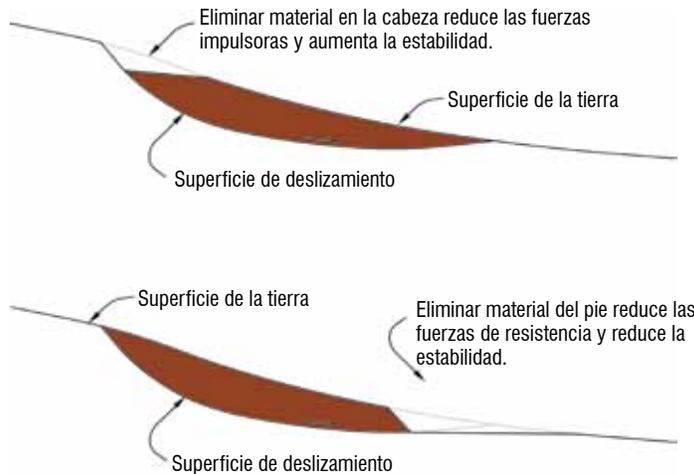


Figura C1. Ilustración de las diferencias de estabilidad que produce la excavación en las superficies de la cabeza y la base de una pendiente (Gráfico por Rex Baum del Servicio Geológico de los Estados Unidos.)

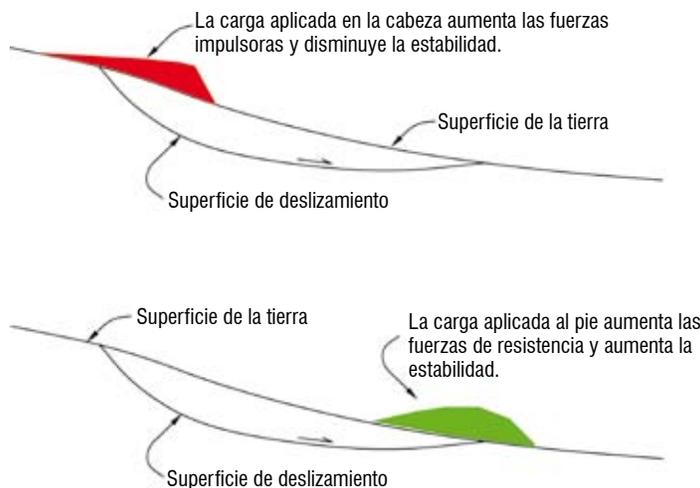


Figura C2. Ilustración de la diferencia en la estabilidad de la carga en la cabeza o en el pie de una ladera. (Gráfico por Rex Baum del Servicio Geológico de los Estados Unidos.)

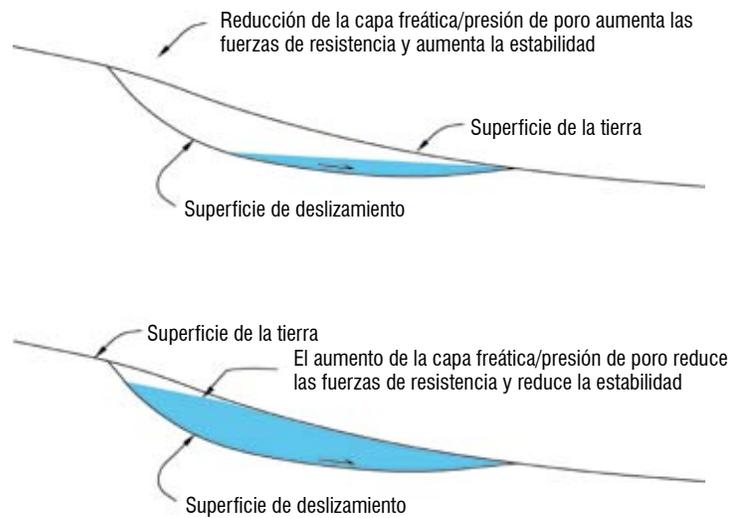


Figura C3. Ilustración de la importancia del agua en la estabilidad de una ladera. (Gráfico por Rex Baum del Servicio Geológico de los Estados Unidos.)

Relleno con material ligero

Una técnica relacionada con la reducción de la altura consiste en excavar la parte superior de la tierra y reemplazarla con un material de relleno ligero tal como astillas de madera o residuos de la tala. A continuación se cubre con una fina capa de árido grueso y el material de relleno puede servir de base para el tráfico de uso limitado (fig. C4).

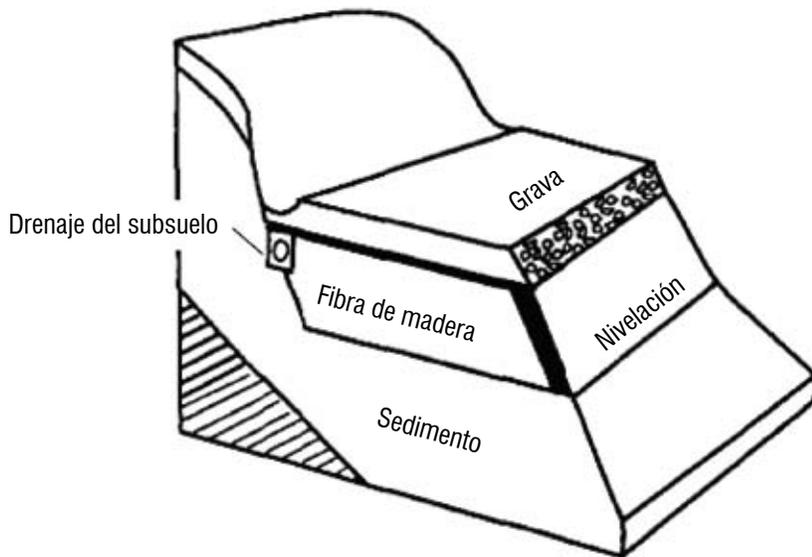


Figura C4. Esquema y fotografía de un relleno ligero. Se ha producido un aumento creciente del uso de tiras de neumáticos reciclados en aplicaciones de ingeniería civil. Las aplicaciones en carreteras incluyen el uso de neumáticos triturados como relleno ligero sobre suelos débiles en los terraplenes de puentes y refuerzos de los muros de contención, o en climas muy fríos, como aislamiento de la base del camino para resistir los empujes debidos al hielo y como un medio de alta permeabilidad para el alcantarillado del borde. (Gráfico tomado de la referencia 11, fotografía del Departamento de Transporte, Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos.).

Bancos

Los bancos son una serie de “escalones” cortados en un suelo profundo o una roca con el objeto de reducir las fuerzas motrices. Son principalmente eficaces para reducir de la incidencia de fallas superficiales, pero en general no son muy eficientes para mejorar la estabilidad general de las laderas por la que se recomiendan otros métodos. Los bancos son útiles en el suministro de dispositivos de protección debajo de los acantilados de roca propensos caída, para el drenaje de superficie de control, o para prestar un área de trabajo para la instalación de desagüe u otras estructuras.

Vea en la figura C12 una foto de los bancos cortados en una pendiente.

Aplanamiento o reducción del ángulo de inclinación u otra modificación de la pendiente

Esto reduce el peso del material y reduce la posibilidad de erosión del cauce de los ríos o cargas de construcción.

Cuándo no se debe excavar la masa de un deslizamiento

En algunas situaciones, la eliminación de toda la masa del deslizamiento es una solución eficaz y económica. En general, sin embargo, esto sólo es práctico en pequeñas depresiones o pequeñas fallas de rotación. La excavación a gran escala de áreas de deslizamientos más grandes no se suele recomendar por varias razones:

- La excavación no siempre es eficaz. Para las fallas planas grandes, la excavación puede no hacer que se detenga el movimiento y puede permitir que se amplíe el deslizamiento.
- La excavación puede **desencadenar un deslizamiento de tierra más grande**, al eliminar el apoyo prestado por el pie del derrumbe.
- La excavación puede **desestabilizar** el terreno más arriba de la pendiente al socavar, lo que debilita la pendiente.
- **En los suelos más profundos**, especialmente las arcillas blandas, donde hay dos superficies de falla potencial, en el fondo una y otra superficial, excavar hasta la superficie de la primera falla podría desencadenar un deslizamiento repentino sobre la superficie de falla más profunda. Un análisis de la estabilidad a partir de datos de resistencia del suelo se aconseja y casi siempre es necesario para cualquier proyecto de excavación importante en suelos arcillosos profundos.

Fortalecimiento de las laderas

Refuerzo de malla de plástico

Hay muchos materiales sintéticos de refuerzo del suelo en el mercado. Uno de ellos es un material de refuerzo de polímero plástico estirado para formar una malla liviana con alta resistencia a la tensión. La malla actúa de manera similar a la malla de refuerzo en el concreto, añadiendo fuerza a la resistencia al corte del suelo.

Estos tipos de materiales se han utilizado para reducir la cantidad de lastre necesaria sobre terrenos blandos mediante el aumento de la capacidad portante del subsuelo. Este tipo de redes también tiene un número de aplicaciones posibles en la estabilización de taludes, incluido el refuerzo de la resistencia del suelo, la mejora del drenaje del suelo y la construcción del muro de contención.

Contrafuertes con relleno de roca

Un método simple para aumentar la estabilidad de las pendientes consiste en incrementar el peso del material en el pie, lo que crea una fuerza contraria que resiste a la falla (fig. C5). Una berma o contrafuerte con relleno de tierra puede volcarse fácilmente en la base de una pendiente. Rocas rotas o escollera en lugar de tierra es preferible, sin embargo, porque tiene una mayor resistencia de fricción de las fuerzas de cizalla y también es de buen drenaje, lo que reduce el problema de obstaculizar el flujo de agua subterránea.

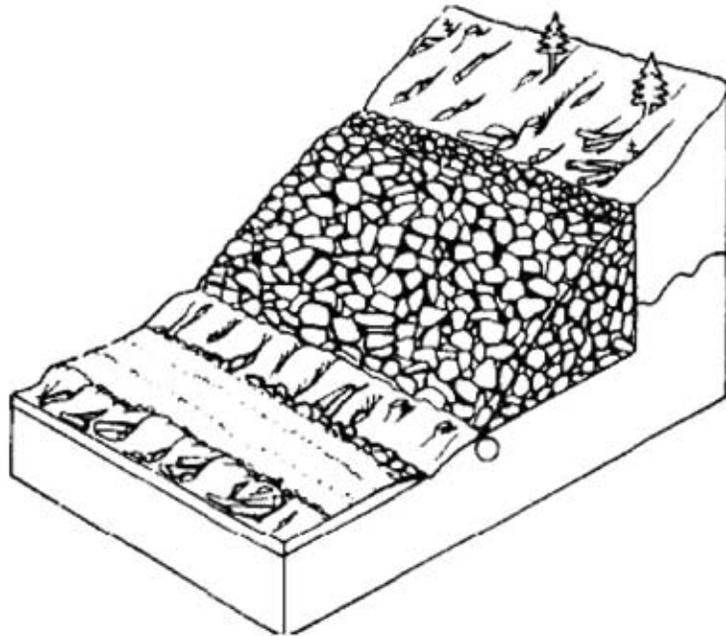


Figura C5. Esquema y fotografía de un contrafuerte de escollera en Canadá. (Gráfico tomado de la referencia 11.)

Revestimientos de canales de corrientes

Los revestimientos de canales son otra forma de estabilizar el canal de un arroyo o riachuelo y los lados del arroyo o riachuelo. El revestimiento es generalmente lechada con mortero de hormigón de alta calidad, preferiblemente reforzado con un colchón de fibras de acero para resistir la abrasión. Las rocas salientes se funden en el hormigón para disipar la energía de la corriente de agua.

Los revestimientos de canales pueden reducir la incidencia y el volumen de las corrientes de escombros (Fig. C6). También son efectivos en el mantenimiento de la alineación del canal aguas arriba de un puente y para la protección de los pilares. Los revestimientos de canales son más eficaces si se aplican sobre el alcance completo de un canal inestable. Los revestimientos suelen ser mucho menos costosos que, por ejemplo, las presas de contención, sobre todo si hay que estabilizar un trecho largo. Sin embargo, las presas de contención son preferibles si los bancos son muy inestables debido a que un dique puede ser introducido en el banco, dando apoyo al pie y de ese modo mejorando la estabilidad

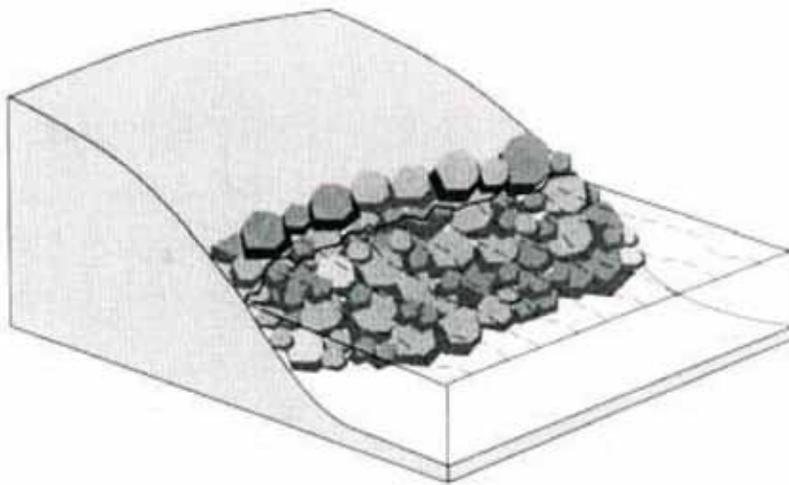


Figura C6. Ejemplo de revestimiento del canal del arroyo con rocas, Dickson Creek, Montana, EE.UU. (Fotografía y gráfica, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.).

Presas de contención

Las presas de contención son presas pequeñas de almacenamiento de sedimentos, situada en los canales de barrancos escarpados para estabilizar el lecho del canal. Se usan comúnmente en Europa y Japón para controlar la frecuencia y el volumen de los escombros canalizados. Un uso menos común de las presas de contención es el control de desprendimientos y deslizamientos de poca profundidad en el área de origen de los deslizamientos de escombros. Las presas de contención son costosas de construir y por lo tanto generalmente se construyen sólo cuando hay instalaciones importantes o hábitat de vida silvestre, como un campamento o zona de desove, se encuentran cuesta abajo. Las corrientes de escombros canalizados están asociadas con gradientes de canal de más de 25 grados y obtienen la mayor parte de su volumen del arrastre del lecho del canal. Las presas de contención tienen tres propósitos cuando se instalan en los canales (con base en la información citada de la Referencia 11):

1. Mitigar la incidencia de fallas reduciendo el gradiente del canal en el canal superior
2. Reducir el volumen del material almacenado en el canal impidiendo el corte del canal y la desestabilización subsiguiente del flanco del barranco y proporcionando apoyo a los pies de las laderas del barranco.
3. Almacenar los sedimentos de la corriente de escombros, cuando se instala en la parte inferior del canal

Cuando se instalan en los deslizamientos de escombros, las presas almacenan el material desprendido, lo que eventualmente crea pequeñas terrazas en el deslizamiento, reduciendo la inclinación de la superficie. Las presas de contención pueden construirse de hormigón armado o armazones de troncos (figs. C7 y C8). Las presas de roca con mortero de hormigón no suelen tener alturas superiores a 8 m, mientras que las presas de armazones de troncos no deben superar los 2 m (6 pies). La separación de las presas depende del gradiente del canal y la altura de la presa. Por ejemplo, una presa de 2-m (6 pies) de alto en un canal de 20 grados con relleno del canal inclinado de 10 grados se espacian cada 12 m (36 pies). La erosión y socavación lateral del arroyo por el agua del aliviadero son los principales inconvenientes.

Para prevenir la falla de la presa de contención

Durante la construcción, los muros laterales de hormigón y los extremos de la armazón de troncos deben estar atados firmemente a la pared del cañón y el lecho del río para soportar las presiones del relleno y la erosión lateral. Las paredes laterales deben tener una inclinación de alrededor del 70 por ciento y extenderse por lo menos 1 a 2 metros (3 a 6 pies) en los bancos. La base de la presa debe tener una anchura mínima de un tercio de la altura total de la presa y ser más profunda que cualquier agujero de erosión que posiblemente aparezca.

Rellenar de la presa, en lugar de permitir que se llene naturalmente, reduce la carga dinámica de la estructura y produce un diseño más estable. La pendiente del relleno debe ser inferior a la mitad de la pendiente del canal. Las presas que han

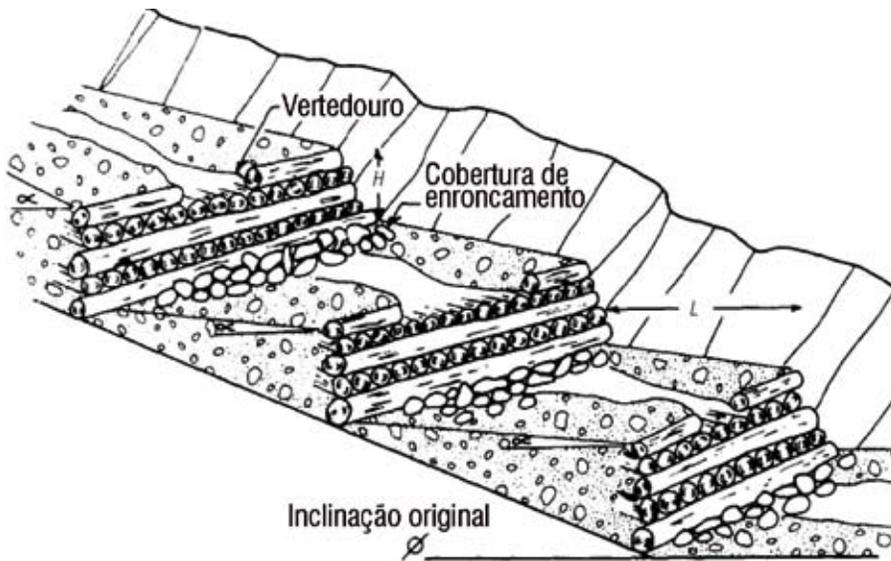


Figura C7. Esquema y fotografía de una presa de contención con muro de armazón, que es un tipo de presa de contención. (Gráfico tomado de la Referencia 11, fotografía tomada en Trafoi, Italia, cortesía de “Erosion Control,” Forester Communications, Santa Bárbara, California, EE.UU.).



Figura C8. Vista aguas arriba de la presa de contención de armazón de hormigón con sección central de bajo flujo en el sur de California, EE.UU. (Fotografía del Distrito de Control de Inundaciones del Condado de Los Ángeles.)

sido rellenadas de tierra por lo general sobreviven una corriente de escombros. El material de relleno no será lavado durante o después de un torrente.

Técnicas de drenaje

El agua subterránea es probablemente el factor más importante para la iniciación de los deslizamientos. No es de extrañar, por tanto, que un drenaje adecuado del agua sea el elemento más importante de un sistema de estabilización de laderas, para desprendimientos de tierras reales y potenciales. El drenaje es efectivo porque aumenta la estabilidad de los suelos y reduce el peso de la masa deslizante. El drenaje puede ser superficial o subterráneo. Las medidas de superficie de drenaje sólo requieren un diseño sencillo y son de bajo costo y con ellas se pueden obtener importantes beneficios de estabilidad. Se recomiendan para cualquier deslizamiento potencial o existente.

Los dos objetivos del drenaje de la superficie son prevenir la erosión de la cara, reduciendo el potencial de caída de la superficie, y evitar la infiltración de agua en el suelo, reduciendo así las presiones de agua subterránea. El drenaje subterráneo también es eficaz, pero puede ser relativamente costoso. Por tanto, es esencial que el agua subterránea sea identificada como la causa del deslizamiento antes de utilizar métodos en el subsuelo. Las diversas modalidades de drenaje son las siguientes:

Nivelación del sitio

Suavizar la topografía de la superficie del deslizamiento puede evitar que el agua de la superficie se encharque o se conecte con el agua subterránea. Cualquier depresión en la pendiente que podría retener agua estancada debe eliminarse. Es útil rellenar y sellar las grietas grandes en la superficie del suelo nivelando la masa del suelo y esto evita que el agua de la superficie llegue al plano de falla.

Zanjas y desagües

El drenaje superficial puede practicarse a través de zanjas superficiales o drenajes subterráneos poco profundos (fig. C9). El drenaje superficial es especialmente importante en la cabeza del deslizamiento, donde son eficaces un sistema de zanjas de corte que cruzan el testero del deslizamiento y los drenajes laterales para dirigir el escurrimiento alrededor del deslizamiento. La gradiente de la zanja debe ser de al menos 2 por ciento, para asegurar que el agua fluya rápidamente y se aleje de la zona inestable.

El tipo más simple de drenaje del subsuelo es la zanja lateral construida arriba de una ladera inestable. Las zanjas de drenaje son económicas sólo para suelos poco profundos que cubren lecho de roca dura o sedimento impermeable. Las zanjas deben excavar hasta la base de los suelos poco profundos para interceptar cualquier corriente de agua subterránea a lo largo del plano de la falla. Se rellenan con grava gruesa para evitar el desprendimiento de las paredes laterales de la zanja. Una mejora consiste en utilizar tubería y luego rellenar la zona con grava gruesa.

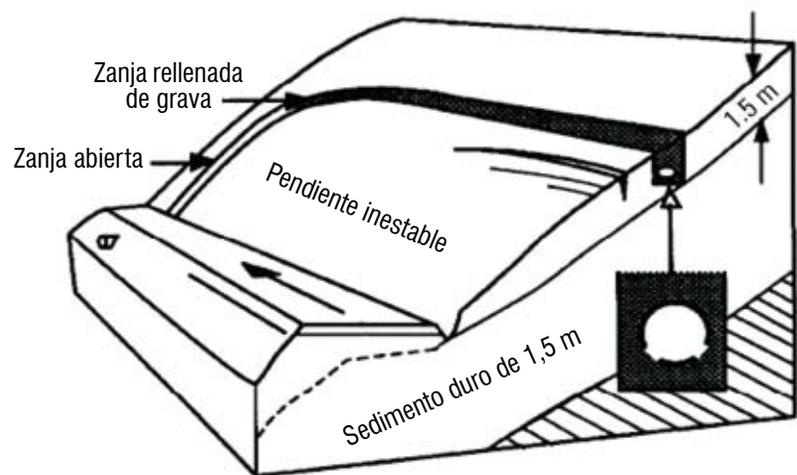


Figura C9. Esquema y fotografía de una zanja de drenaje. (Gráfico tomado de la Referencia 11, fotografía por el Departamento de Transportes, Energía e Infraestructura, Australia del Sur.)

Tuberías de drenaje

Las tuberías de desagüe horizontales son un dispositivo utilizado para la prevención de deslizamientos en la construcción de carreteras (fig. C10). Son más eficaces si se instalan durante la excavación inicial. Debido a los periodos de latencia largos que se necesitan para bajar los niveles freáticos, los desagües sólo son eficaces si el tubo se instala cuidadosamente, cruza la superficie de la falla y el tubo drena de hecho en el suelo. Como la mayoría de los suelos de las pendientes tienen diferentes y condiciones hidráulicas y geométricas, cada sistema de drenaje se debe diseñar individualmente. Después de realizar la perforación hasta la profundidad deseada e instalar la carcasa, esta última se limpia de tierra y las secciones de tubería de drenaje de PVC ranuradas se cubren con un filtro de tela. Después se empujan dentro de la carcasa y se acoplan. Se retira la cubierta y se instala cedazo sobre el extremo del drenaje. Los agujeros de drenaje deben estar completamente limpios de recortes de perforación y de barro. Si no se limpian los agujeros, su efectividad puede ser sólo del 25 por ciento.

En suelos arcillosos, el cambio completo de las capas freáticas puede tardar hasta cinco años y un 50 por ciento de la mejora tiene lugar en el primer año. Una vez que bajan los niveles freáticos en los suelos de arcilla, el cambio es bastante permanente; sin embargo, pueden ocurrir fluctuaciones estacionales: la precipitación no alterará el nivel de las aguas subterráneas en la ladera siempre que el desagüe no se obstruya. En suelos arenosos, el nivel freático bajará en unos pocos meses y también fluctúa con las lluvias.

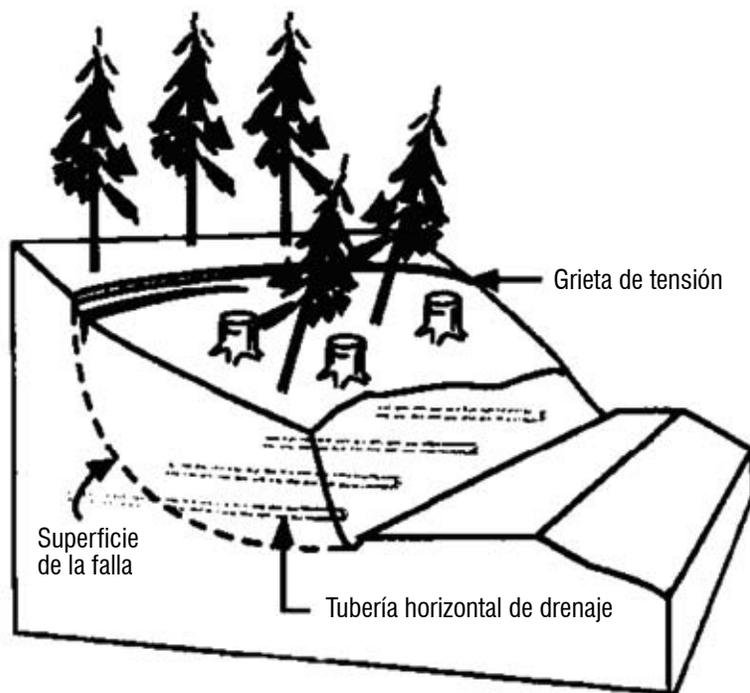


Figura C10. Esquema de las tuberías de desagüe. (Esquema tomado de la Referencia 11). Fotografía de tubos de drenaje en un deslizamiento de tierra en California, Estados Unidos, por Andrew Alden.

Cilindros y pacas de paja

Los cilindros de paja, también conocidos como gusanos de paja, troncos biológicos, fideos de paja o tubos de paja, son cilindros manufacturados de paja comprimida libre de malezas (trigo o arroz), de 20 a 30 centímetros (8 a 12 pulgadas) de diámetro y 7 a 9 metros (20 a 25 pies) de largo (fig. C11). Se recubren con yute, nylon u otros materiales fotodegradables y tienen un peso medio de 16 kilogramos (35 libras). Se instalan en una zanja poco profunda, formando una barrera continua a lo largo del contorno (atravesados en la pendiente) para interceptar el agua que corre por una pendiente. Los cilindros de paja deberían ser efectivos durante un período de 1 a 2 años si se pueden instalar en pendientes de hasta el 70 por ciento. Sin embargo, su efecto disminuye en gran medida en pendientes superiores al 50 por ciento. Los suelos pueden ser poco profundos, pero no de menos de unas 8 pulgadas. Los cilindros de paja aumentan la infiltración, añaden aspereza, reducen la erosión y añaden protección a corto plazo en las laderas donde se ha establecido vegetación permanente para proporcionar control de la erosión a largo plazo. Las pacas de paja son fáciles de obtener en la mayoría de las regiones del mundo, son muy portátiles y tienen una aplicación de tipo modular para el control de la erosión de las pendientes y del drenaje (fig. C12).



Figura C11. Cilindros de paja en el lado de una carretera capturan el sedimento y lo mantienen en su sitio, permitiendo que las semillas puedan establecerse y germinar, ayudando así al proceso de restablecimiento de la vegetación. (Fotografía de Lynn Highland, Servicio Geológico de los Estados Unidos.)



Figura C12. Las pacas de paja tienen una aplicación similar y son fáciles de obtener. El tamaño de cada paca individual se puede ver en el montón de pacas, al centro derecha de la fotografía. (Fotografía de una pendiente en Nuevo México, Estados Unidos, Nuevo México, Departamento de Minería, Minerales y Recursos Naturales.)

Muros de contención

Para todos los tipos de muros de contención, es esencial el drenaje adecuado a través de toda la estructura porque la presión del agua subterránea muy alta puede acumularse detrás de cualquier muro de contención, haciéndolo fallar. El drenaje se puede proporcionar con un simple relleno grueso y material de cimentación.

Armazones de madera

Las paredes hechas de armazones de madera son estructuras construidas con troncos entrelazados y rellenas de áridos gruesos (fig. C13). Trabajan intersecando la superficie crítica de deslizamiento, lo que obliga a la superficie de falla potencial a bajar a una mayor profundidad menos crítica. La estructura debe ser capaz de soportar: (1) rotura, (2) vuelco y (3) deslizamiento en la base. Debe, por tanto, ser sólida al estar enterrada a la profundidad necesaria y se extiende más allá del plano de falla crítico. Los muros hechos de este tipo de armazón sólo son efectivos cuando el volumen de suelo estabilizado es relativamente pequeño. Son más eficientes cuando una capa delgada de tierra inestable se superpone a una capa de tierra más profunda y más estable. Las estructuras de armazón deben tener un volumen igual al 10 a 15 por ciento del volumen del suelo que haya que estabilizar.

Este volumen relativamente pequeño proporciona poco contrapeso de apoyo en el pie; por lo tanto, prácticamente toda la resistencia a la falla proviene de la robustez de la armazón.

Nota: Se necesita el asesoramiento de un ingeniero civil para paredes de más de 3 metros (9 pies), o para aquellas que se apoyen en suelos de cimentación complejos.

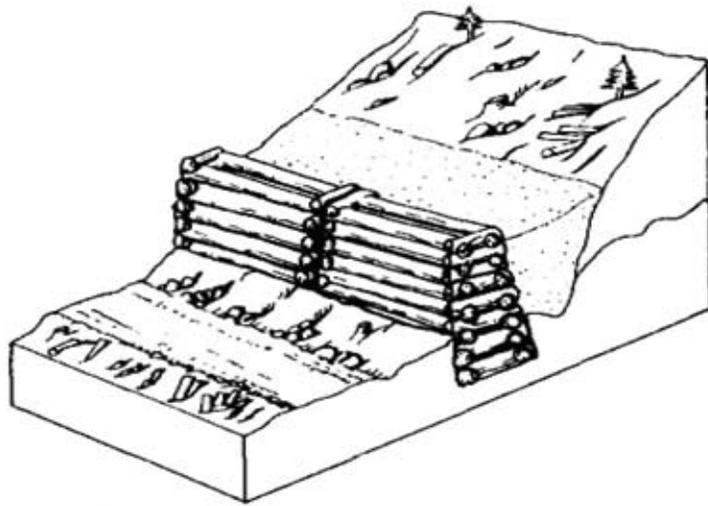


Figura C13. Desenho esquemático e fotografia de uma grade de madeira. (Esquema da Referência 11, fotografia é cortesia do PHI Group, Reino Unido).

Muro de cajón de acero

Un muro que consiste de un cajón de acero está formado por componentes de acero galvanizado corrugado unidos entre sí para formar una caja que se rellena con tierra (fig. C14). La estabilidad de un muro de gravedad se logra con el peso de la propia pared, quizás ayudado por el peso del suelo frente a la pared. La mayor parte del peso es del suelo, no del acero, y esto debería tenerse en cuenta al preparar los cimientos. Las paredes más grandes deben diseñarse individualmente, calculando la carga y los requisitos que deben reunir los cimientos. Los gráficos de diseño de ingeniería civil y de estructuras proporcionan las especificaciones para los largueros (miembros horizontales) y los coeficientes de altura-anchura para las condiciones de carga típicas. La anchura de las paredes varía de 2 a 5 metros (6 a 15 pies) y tiene de la mitad a las tres quintas partes de la altura de la pared. Para proporcionar resistencia adicional al deslizamiento, el pie de la pared suele estar de 0,5 a 1,0 metros (1,5 pies a 3 pies) por debajo del nivel del suelo, aunque el diseño no debe contar con el apoyo de la zapata adicional, ya que puede erosionarse o desplazarse inadvertidamente. El factor de seguridad es mejor si la pared se encuentra en una pendiente de 1:6. El material de relleno debe estar bien drenado y compactado, de preferencia en incrementos de 20 centímetros (7,8 pulgadas). El material detrás de la pared también debe estar bien drenado y moderadamente compactado.

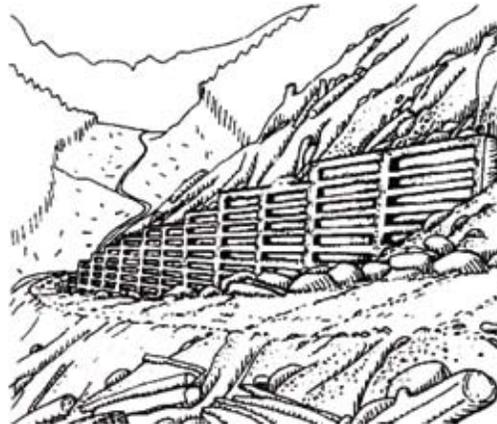


Figura C14. Esquema y fotografía de una pared de cajón de acero. (Esquema tomado de la referencia 11.)

Muro de tierra reforzado

La Tierra Reforzada es un sistema patentado para la construcción de rellenos en ángulos muy empinados o verticales sin el uso de estructuras de apoyo en la cara del relleno (fig. C15). El sistema utiliza capas horizontales de tiras de metal flexibles dentro del relleno para formar un sistema compuesto de tierra y metal con alta resistencia.

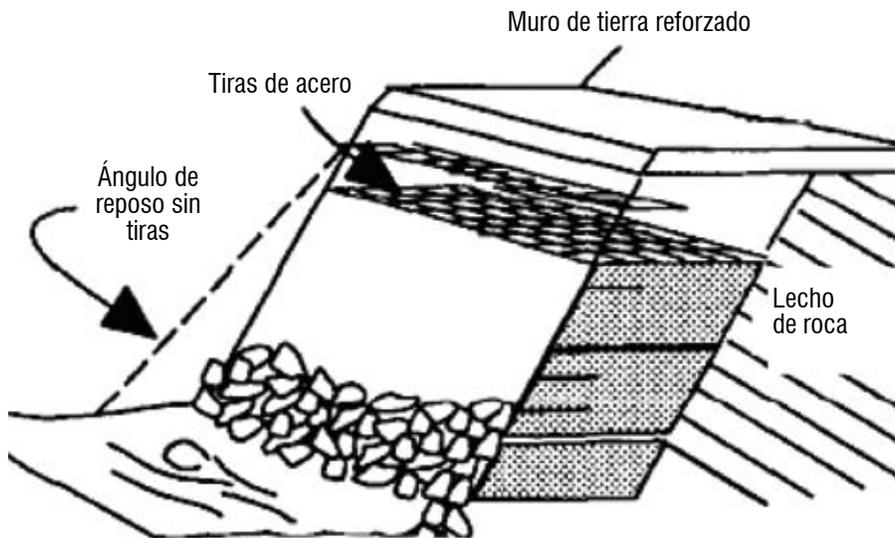


Figura C15. Esquema y fotografía de un muro de tierra reforzada. (Esquema tomado de la referencia 11).

Muros de gaviones

Los gaviones son contenedores similares a cajas de malla de alambre, llenos de piedras de 10 a 20 centímetros (4 a 8 pulgadas) (fig. C16). Un muro de gaviones también puede construirse con gaviones apilados. Los muros de gaviones no suelen ser caros y son fáciles y rápidos de construir. Debido a su flexibilidad, pueden soportar el movimiento de los cimientos y la cimentación no es difícil de preparar. Debido a su relleno grueso, son muy permeables y proporcionan así un excelente drenaje.

Los muros de gaviones funcionan porque la fricción entre las hileras de gaviones individuales es muy alta, al igual que la fricción entre la fila de la base y el suelo en que descansa. Cuando hay una falla, casi siempre se da en el suelo de la cimentación. Por lo general se pueden construir paredes de tres niveles de hasta 2,5 metros (8 pies) de altura sin recurrir a ningún análisis de ingeniería de detalle. Las paredes más altas son muy pesadas por su volumen añadido y necesitan cimientos de base más grandes y, posiblemente, contrafuertes adheridos para reforzar la pared. (Un contrafuerte adherido es un contrafuerte unido a la parte posterior de la pared, diseñado para mejorar la estabilidad.) Los muros de gaviones construidos en suelos arcillosos requieren contrafuertes adheridos, que pueden construirse como encabezamientos de gaviones que se extienden desde la parte frontal de la pared hasta más allá del círculo de deslizamiento. Los contrafuertes adheridos sirven como componentes estructurales y como drenajes.

Se dispone de gráficos de diseño para diversas combinaciones de ángulos de inclinación de la ladera y alturas de los muros de contención.

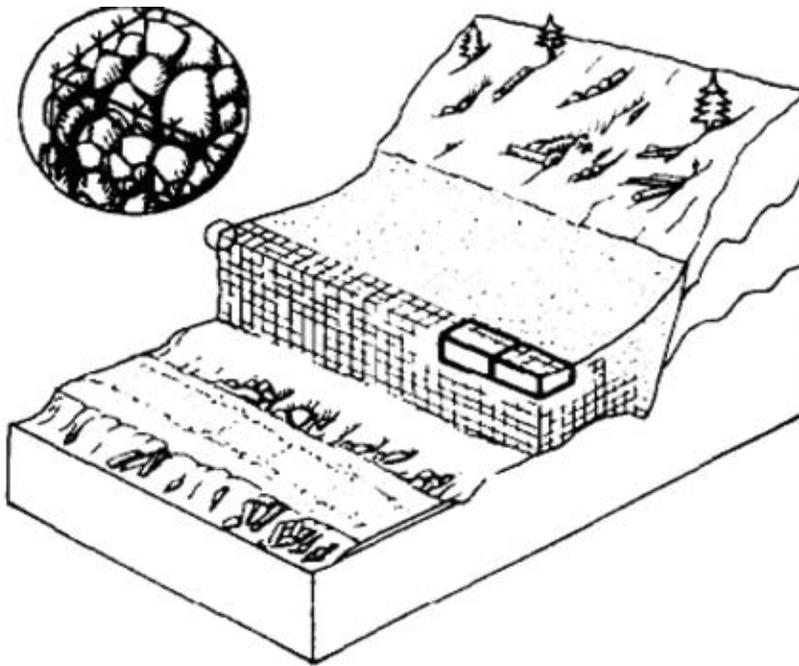


Figura C16. Esquema y fotografía de un muro de gaviones a lo largo de una carretera. (Esquema tomado de la referencia 11.) (Fotografía de gaviones situado en las montañas Pocono, Pennsylvania, Estados Unidos, por Lynn Highland, Servicio Geológico de los Estados Unidos).

Pilotes

Se pueden colocar pilotes de gran diámetro en la base de una pendiente para formar una pared vertical de pilotes muy próximos entre sí (fig. C17). Las pantallas o muros de pilotes se utilizan normalmente como un sistema de retención previo a la excavación; el corte de excavación se lleva a cabo enfrente. Mientras que se han utilizado con éxito muros de pilotes de hormigón de gran diámetro y muros de pilotes de alcantarilla en las carreteras, no han funcionado bien los muros de pilotes de madera o de acero de diámetro pequeño. Para la mayoría de los movimientos de tierra o de rocas, los pilotes de madera no son adecuados para proporcionar suficiente resistencia a la rotura. Son aptos únicamente cuando el volumen de suelo a ser estabilizado es pequeño. En promedio, un pilote de madera es necesario por cada 50 metros cúbicos (65,3 yardas cúbicas) de tierra, lo cual no es suficiente para grandes proyectos de estabilización. Si se usan muy pocos pilotes, éstos pueden caer y (o) romperse debido a la masa en movimiento de suelo, así como por el movimiento del suelo entre los pilotes.

Una limitación importante cuando se utilizan troncos como pilotes es la profundidad, ya que muchas superficies de fallas están por debajo de la altura de los pilotes. Los pilotes de madera son los mejores para fallas poco profundas de tierras sobre suelos estables más profundos. Los pilotes deben extenderse muy por debajo de la superficie potencial de la falla y estar firmemente clavados en el subsuelo firme. Si la profundidad de colocación no es suficiente para permitir que los pilotes actúen como sistema en voladizo, los pilotes deben afianzarse con un sistema adicional de anclaje.



Figura C17. Un muro de pilotes relleno de hormigón. Se ha colgado malla de refuerzo sobre la cara de los pilotes y está lista para la aplicación de hormigón proyectado. Situado en Brighton, Melbourne, Australia. (Fotografía por cortesía de Basement Construction Services, Victoria, Australia.)

Estabilización de pendientes mediante el uso de vegetación

La siembra de gramíneas y leguminosas reduce la erosión de la superficie, que en determinadas circunstancias puede dar lugar a deslizamientos de tierra. La plantación de arbustos añade cubierta vegetal y fortalece los sistemas de raíces, lo cual a su vez mejorará la estabilidad del talud. Si no se controlan, la erosión superficial y las fallas de las pendientes pequeñas y poco profundas pueden conducir a problemas más grandes que no se pueden controlar. Para corregir y controlar la erosión en gran escala se requieren tecnologías de ingeniería aplicada. Los términos “ingeniería biológica” y “protección de laderas biotécnica” se refieren a la utilización de vegetación como protección de las laderas para detener y prevenir fallas en la pendiente y erosión superficial. En la sección III del manual se habla en detalle sobre la ingeniería biológica.

La planificación es necesaria para tener éxito en la aplicación de un programa de resiembra de vegetación. Antes de la siembra, se debe pedir consejo a una persona con experiencia local. El conocimiento local basado en los éxitos y los fracasos de los proyectos tiene un valor incalculable. La aplicación de las semillas debe comenzar inmediatamente después de una perturbación, como mínimo aproximadamente 6 semanas antes de períodos de sequía o heladas destructoras.

Una pendiente hecha lo más estable posible antes de la siembra será de beneficio para que la pendiente sea resistente a la erosión en el futuro y a las fallas. El control de las aguas superficiales de drenaje, la eliminación de voladizos de banco cortados, reducir los ángulos de pendiente y los bancos se deben hacer antes comenzar la siembra.

Hay dos tipos básicos de siembra: siembra en seco y siembra hidráulica, también conocido como hidrosiembra:

Siembra en seco La siembra en seco se hace con disco rotatorio y sembradoras de aire soplado. Estos métodos son menos costosos que la siembra hidráulica, pero su uso se limita a superficies de suelo ásperas y a pendientes más suaves. Las sembradoras de disco rotatorio esparcen las semillas y fertilizantes por fuerza centrífuga. El tipo más simple es la sembradora manual de ciclón. Las sembradoras de aire soplado utilizan aire para soplar o disparar semillas y fertilizantes a una distancia de 5 a 8 metros (15 a 24 pies). El equipo puede adaptarse a vehículos automotores.

Siembra hidráulica o hidrosiembra Este tipo de siembra consiste en la aplicación de las semillas en una mezcla de agua que contiene fertilizantes, fijador del suelo y (o) mantillo. El sistema usa un tanque de mezclado con agitación mecánica hidráulica y capacidad de bombeo de gran volumen. La siembra hidráulica es eficaz para la siembra de pendientes 1:1 y más empinadas, donde es necesario pegar la semilla a la pendiente.

Tipos de semillas

Una combinación de dos a cinco especies es la mezcla normal de gramíneas y leguminosas utilizada para el control de la erosión. La idoneidad de las semillas depende del tipo de suelo, las condiciones climáticas, la compatibilidad de las especies y el reemplazo de especies. Las condiciones locales varían y no se puede recomendar ningún tipo universal de gramíneas o leguminosas. Los tipos de

vegetación pueden variar de una localidad a otra y lo mejor es pedir consejo a los habitantes locales que están familiarizados con las condiciones locales de cultivo.

Mantillo

El mantillo es un material no viviente que se esparce sobre la superficie del suelo para proporcionar protección contra la erosión de la superficie por la lluvia y retener la humedad del suelo. Se pueden usar varios tipos de coberturas de mantillo: paja, fibras de hierba, fibras de madera, algas y productos de papel.

Protección biotécnica de laderas

Este tipo de protección de laderas se utiliza para reducir las consecuencias medioambientales de las medidas de mitigación de deslizamientos. Cuando se utiliza para la corrección o mitigación de deslizamientos, las estructuras convencionales de retención de tierra hechas de acero o de concreto no suelen ser visualmente agradables o bondadosas con el medio ambiente. Estas medidas correctivas tradicionales “duras” se sustituyen cada vez más por conjuntos de suelo y estructuras que sean ambientalmente más amigables. Este proceso ha llegado a conocerse como protección de laderas biotécnica. Los sistemas biotécnicos más comunes incluyen geomallas ancladas por estacas clavadas en el suelo que mantienen en su lugar la tierra sembrada con césped y geoceldas con tierra sembrada en los intersticios.

Se han realizado investigaciones sobre el uso de plantas para estabilizar el suelo a fin de evitar la erosión excesiva y también para mitigar el efecto de los deslizamientos. Uno de los tipos más prometedores de plantas es el vetiver, un tipo de hierba que funciona muy bien en muchos ambientes diferentes, para estabilizar taludes contra la erosión. Véase en el Apéndice C más información sobre esta planta, sus usos y su idoneidad geográfica.

La protección biotécnica de las pendientes consiste en dos elementos: la **estabilización biotécnica** y la **bioingeniería de estabilización de suelos**, las cuales implican la utilización de materiales vivos. Específicamente, la estabilización biotécnica con vegetación utiliza elementos mecánicos (estructuras) en combinación con elementos biológicos (plantas) para prevenir y detener a los fallos de las pendientes y la erosión. Los elementos mecánicos y biológicos deben funcionar juntos de forma complementaria. La bioingeniería de estabilización de suelos, por otra parte, puede considerarse como un subconjunto especializado de la estabilización biotécnica en la que partes de plantas vivas, es decir, raíces, tallos y ramas, sirven como los principales elementos estructurales o mecánicos en el sistema de protección de taludes. Los sistemas de protección de pendientes biotécnicos se funden en el paisaje. Hacen hincapié en el uso de materiales naturales, obtenibles localmente, tales como tierra, roca, madera y vegetación, a diferencia de materiales fabricados, como el acero y el hormigón. Los componentes estructurales o mecánicos no interfieren visualmente con el medio ambiente tanto como las estructuras convencionales de retención de tierra. Ejemplos de estructuras vegetales biotécnicas, que suelen incorporar vegetación en la estructura misma, incluyen armazones de troncos y madera, muros de gaviones y superficie de roca, paredes de alambre soldado y tierra reforzada. Los refuerzos interiores resistentes

a la tensión que utilizan los principios de la bioingeniería permiten la construcción de pendientes de relleno sobreempinadas de hasta 70°. En la referencia 30 se puede encontrar una guía general sobre los diferentes métodos de estabilización de bioingeniería e información más detallada.

Como se señaló anteriormente, la bioingeniería del suelo se basa principalmente en el uso de materiales autóctonos como tallos o ramas de plantas, piedras, madera o tierra. La vegetación idónea para la bioingeniería se puede obtener de fuentes locales tales como el sauce, el aliso y otras variedades autóctonas, fáciles de propagar. Además, los sistemas de bioingeniería del suelo suelen ser ambientalmente compatibles durante el proceso de construcción, ya que generalmente requieren un acceso mínimo para los equipos y los trabajadores y causan perturbaciones relativamente menores. Con el tiempo, los sistemas de bioingeniería pasan visualmente desapercibidos y se funden con el entorno natural. Este es un atributo favorable en zonas ambientalmente sensibles, tales como parques, zonas ribereñas y corredores escénicos, donde son importantes la calidad estética, el hábitat de la vida silvestre y la restauración ecológica. A medida que envejecen las estructuras de bioingeniería que utilizan especies de árboles, tienen la ventaja añadida de que se vuelven más estables y, finalmente, contribuyen a la sucesión natural y la colonización a largo plazo de las especies forestales. En la mayoría de los casos, los pastos, arbustos y árboles nativos se utilizan como vegetación en la bioingeniería de estabilización. El sauce ha tenido mucho éxito en muchas partes del mundo. En las zonas tropicales y subtropicales, los setos de hierba vetiver para estabilización se han vuelto muy populares debido a la rápida expansión y la penetración profunda de las raíces de esta hierba. Sin embargo, si se introducen especies exóticas de plantas o árboles, existe el peligro real de que entren en conflicto con la flora nativa.

*Se sugiere que los usuarios
potenciales consulten el sitio Web del
pasto vetiver en:
<http://www.vetiver.org>*



Figura C18. Un sistema de pasto vetiver se utiliza en la República Democrática del Congo para el control de surcos en las zonas urbanas y para la estabilización de carreteras. Estos surcos son un problema importante en esta zona y en otros países de África Occidental (arriba). Ahora ha mejorado el drenaje en la misma pendiente y en la pendiente se ha sembrado el pasto vetiver (centro). Esta siembra de pasto vetiver tiene aproximadamente 3 meses de edad (abajo).



Si bien las evaluaciones detalladas de la estabilidad de los taludes, que normalmente han llevado a cabo ingenieros geotécnicos e ingenieros geólogos, las interacciones orgánicas entre la vegetación, el suelo y las estructuras que deben ser evaluadas al aplicar la técnica de bioingeniería de estabilización son quizás mejor comprendidas por los científicos del suelo, agricultores, silvicultores e hidrólogos. Por lo tanto, el enfoque de bioingeniería para la estabilización de taludes requiere la cooperación de las disciplinas de la geotecnia y las ciencias vegetales trabajando en paralelo y al unisono.

Se cuenta con publicaciones que indican qué tan efectiva es en las diferentes regiones del mundo. Una visión general para el principiante sobre el pasto vetiver es el libro “Vetiver Grass: A Thin Green Line Against Erosion.” (“El pasto vetiver: una estrecha línea verde contra la erosión”). La referencia completa para el libro está en la referencia 22. (Véase también la referencia 47).



Figura C19. Distribución mundial de los programas activos de pasto vetiver. El gráfico se tomó del Sitio Web del pasto vetiver (<http://www.vetiver.org>).

Notas adicionales sobre el pasto vetiver: Para las naciones en desarrollo, la erosión del suelo que incluye, en su forma extrema, deslizamientos de tierra, es uno de los procesos naturales más dañinos que se deben atender. Poco se ha logrado en el tratamiento de la erosión que pueda ser de aplicación general, de bajo costo, de larga duración y atractivo. El vetiver, una gramínea tropical, ofrece una forma práctica y barata de impedir la erosión. Plantado en hileras a lo largo de los contornos de las tierras en pendiente, el vetiver forma rápidamente setos estrechos pero muy densos. Su follaje rígido bloquea el paso de la tierra y los escombros. Esta hierba profundamente arraigada y persistente ha controlado los suelos erosionables durante decenios en Fiji, India y algunas naciones del Caribe. La figura C18 muestra fotografías de un proyecto de vetiver en la República Democrática del Congo y cómo se utiliza para la estabilización de surcos y carreteras. El proyecto está patrocinado por varias dependencias del gobierno. Estas y otras fotografías de la hierba vetiver se encuentran en el sitio Web citado al final de esta sección.

Parte 2. Técnicas de estabilización/mitigación de taludes de roca

La caída de rocas puede variar desde unas rocas del tamaño de un puño a grandes secciones de acantilados y peñascos que, dependiendo de su tamaño y forma, pueden rodar, rebotar y caer a toda velocidad por las laderas, aterrizando a grandes distancias de las líneas de caída. Áreas recreativas tales como playas cerca de acantilados, parques y espacios abiertos se ven afectados por caída de rocas, y las personas se ven expuestas con frecuencia a estos peligros. La gente que se aventura demasiado cerca de los bordes de los acantilados y laderas rocosas puede añadir presión a los salientes ya débiles y causar desprendimientos de rocas que caen sobre personas que están abajo o ellas mismas sufren lesiones cuando estos bordes se derrumban. Ya sea que estén de excursión, acampando, caminando o trabajando cerca de acantilados o paredes rocosas, las personas se enfrentan muchas veces a este peligro sin advertencia. Hay técnicas de ingeniería que se pueden usar para ayudar a mitigar los efectos de la caída de rocas y algunas de ellas se examinan aquí. En algunos casos, hay más de un tipo de solución de ingeniería óptimo, y una combinación de estas medidas de rehabilitación aplicadas a una zona donde existe el peligro de caída de rocas se muestra en la figura C20.



Figura C20. Esta fotografía muestra las medidas contra la caída de rocas que incluyen muros de contención de masas de hormigón, muros de gaviones (ambos tipos de pared están en la parte superior de la fotografía), vallas de contención, tratamientos de las rocas y refuerzos. (Fotografía del túnel Pen-y-Clip en una carretera en el norte de Gales, Reino Unido. Fotografía de Dave Giles, Engineering Geology Consultancy Group de la Universidad de Portsmouth, Reino Unido).

Técnicas seguras de captación

Zanjas de captación

Los fosos anchos de captación son eficaces para contener desprendimientos de rocas, pero las zanjas se deben diseñar teniendo en cuenta la geometría del acantilado. Lo mejor es consultar a un profesional acerca de las especificaciones. El fondo de la zanja de captación se debe cubrir con tierra suelta para evitar que la roca que cae rebote o se deshaga en pedazos o fragmentos. Si no hay suficiente espacio para construir una zanja tan amplia como se especifica, se puede utilizar una combinación de pequeñas zanjas con gaviones o pared de roca a lo largo de sus bordes ladera abajo.

Cable, malla, cercas y cortinas de roca

El cable de amarre y las redes de cable son métodos simples, de bajo costo para la protección de una carretera o un camino contra el desprendimiento de rocas. Cuando hay grandes bloques inestables, cables de metal se envuelven alrededor de los bloques y se anclan a la pendiente. Cuando la roca está demasiado fracturada para sujetarla mediante cables individuales, se utilizan redes de cable. La malla de alambre (cables entrelazados muy próximos entre sí) se puede utilizar para evitar que se caigan las rocas más pequeñas, de menos de 0,75 metros (2,4 pies) de tamaño. (Ver en la figura C21 una fotografía de un ejemplo de malla de alambre). La malla estándar es malla de alambre de gaviones doblemente torcida o una cadena de metal de calibre grueso. La malla se extiende holgadamente sobre una superficie rocosa uniforme o se atornilla o se sujeta donde la pared del acantilado es irregular y la malla no puede hacer contacto estrecho con la roca. Empernar la malla a la cara de la roca puede impedir que la roca se desprenda y proporciona estabilidad general al talud o pared de roca. La malla de alambre también es útil en los cortes de suelo escarpados, especialmente debajo de taludes.

Se pueden construir redes de captación hechas de malla de alambre y cable para atrapar los derrumbes de rocas en el fondo de barrancos y laderas. Cuando se suspende de un cable anclado, la malla forma una barrera flexible para disipar la energía de la piedra que cae y por lo general detendrá rocas de hasta 1 m de diámetro, si está bien sujeta. Además, las redes de captación pueden utilizarse en conjunción con zanjas de captura en los lados de las carreteras.

Las vallas de roca como las que se muestran en la figura C22 son bastante fáciles de instalar y pueden impedir que rocas pequeñas caigan en las carreteras pero no detienen las piedras que rebotan sobre la parte superior de la cerca que sirve de barrera. Las cortinas de roca, como la que se muestra en la figura C23, son más eficaces para dirigir las rocas hacia una zanja de captación u otra estructura de captación, evitando que reboten hacia la carretera o las estructuras que se encuentren más abajo.



Figura C21. Ejemplo de malla de alambre colocada sobre una ladera rocosa de contener las rocas que pueden derrumbarse.



Figura C22. Barrera de roca de protección a lo largo de (A) un sendero de tierra en Pennsylvania, Estados Unidos, y (B) una carretera en la costa de California, Estados Unidos. (Fotografía del sendero por Lynn Highland, Servicio Geológico de los Estados Unidos; fotografía de la carretera por la Administración Federal de Carreteras, Estados Unidos).

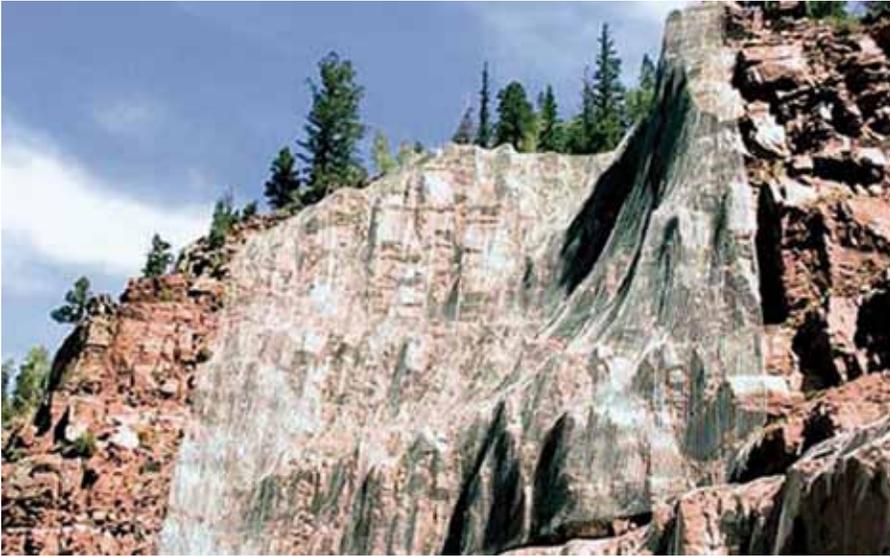


Figura C23. Ejemplo de una “cortina de roca” que controla la caída de rocas en zonas con problemas. (Fotografía de Doug Hansen, High Angle Technologies, Inc.)

Muros de contención

Los muros de contención pueden trabajar de forma similar a los descritos para técnicas de estabilización de taludes de tierra para mantener los escombros de rocas fuera de un área. Son similares a las vallas contra la caída de rocas, pero en la mayoría de los casos son más sólidos y más fuertes. Los muros de contención pueden estar hechos de acero, hormigón, madera u otros materiales y deben sujetarse adecuadamente para que no se vuelquen al caer las rocas.

Cobertizos o albergues contra rocas

Éstos se construyen sobre carreteras, ferrocarriles, y en ocasiones sobre estructuras para protegerlas de derrumbes de rocas y aludes de rocas. Los cobertizos son estructuras abiertas en los extremos o encierran en su totalidad la zona de caída de rocas en una estructura de hormigón o de acero (u otro material) que desvía la caída de rocas del camino, ferrocarril o estructura. Las figuras C24 a C27 muestran ejemplos de cobertizos o albergues contra rocas.

Refuerzo de salientes de roca

Estos no son de uso común, ya que trabajan sólo en situaciones especiales y deben estar cuidadosamente diseñados y ser estructuralmente fuertes.

La Figura C27 es un ejemplo.

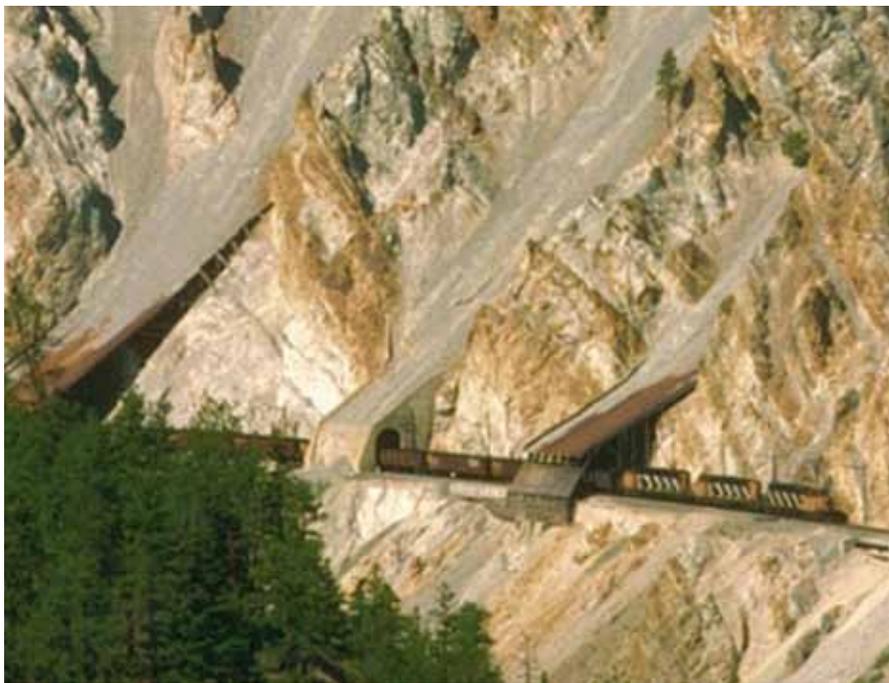


Figura C24. Albergues contra rocas Pitquah, Columbia Británica, Canadá. Estos cobertizos encierran secciones de la vía férrea, protegiéndolas de derrumbes de rocas y aludes de rocas. (Fotografía de John Carter, www.trainet.org.)



Figura C25. Ejemplo de cobertizo abierto contra rocas en Nueva Zelanda (Fotografía por cortesía de Richard Wright, escalador).



Figura C26. Un refugio contra aludes de rocas en la zona Montagnard de Francia. La longitud del cobertizo puede ser insuficiente, ya que una corriente de escombros que se muestra a la derecha del refugio ha dañado la carretera. (Fotografía de Dave Giles, Engineering Geology Consultancy Group de la Universidad de Portsmouth, Reino Unido).



Figura C27. Ejemplo de una cornisa de roca reforzada, Chapmans Peak Drive, Ciudad del Cabo, Sudáfrica. Fotografía atribuida a: http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Chapmans_peak_dr.jpg

Excavación de la roca

Bancos

Los bancos horizontales excavados en una roca se encuentran entre las formas más eficaces de protección contra los derrumbes de rocas. Además de interceptar la caída de rocas, los bancos reducen las fuerzas de tracción en las rocas de superficie y reducen las tasas de erosión superficial. También reducen la frecuencia de los desprendimientos de rocas. Sin embargo, tienen poco o ningún efecto sobre las posibles fallas profundas de la roca.

Las caras de los bancos se pueden construir más empinadas que el ángulo de inclinación general, ya que las rocas que caen probablemente permanecerán en los bancos (fig. C28). Sin embargo, se deben evitar los ángulos verticales en la cara del banco, ya que pueden producirse grietas de tensión, salientes peligrosas y desprendimientos excesivos de rocas. La colocación de las caras del banco debe detenerse en la base de las capas de roca más débiles, zonas de fractura de roca o zonas acuíferas. Se recomienda un ancho mínimo de 4 m para los bancos y todos los bancos deben tener canales de drenaje para desviar el agua de la ladera.

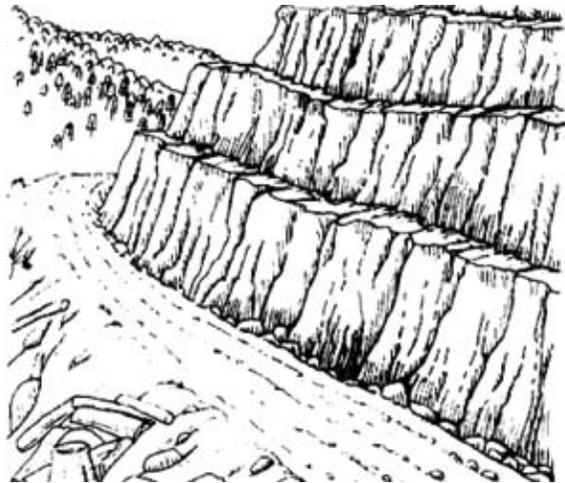


Figura C28. Esquema y fotografía de bancos de roca. (Esquema tomado de la Referencia 11, fotografía de una mina en Tucson, Arizona, Estados Unidos, por Steve Dutch, Universidad de Wisconsin, Estados Unidos).

Raspado y recorte

Los bloques de roca sueltos, inestables y (o) salientes, que pueden representar un peligro para el tránsito y (o) los peatones, pueden quitarse raspando o recortando. El raspado es la extracción de bloques sueltos usando barretas manuales y pequeñas cargas explosivas. El recorte implica alguna perforación y voladura ligera con explosivos, seguida de raspado, para eliminar grandes áreas de roca saliente o potencialmente peligrosas. La necesidad de raspar y recortar se puede reducir con el uso de voladuras controladas, pero las explosiones no siempre son factibles. La roca saliente se quita o se recorta hasta alcanzar una parte estable de la cara. Las operaciones de raspado suelen llevarlas a cabo trabajadores suspendidos por cuerdas u otros medios, usando barretas, gatos y explosivos. Estas operaciones pueden llevar mucho tiempo y ser costosas (y a veces peligrosas) y en laderas activas puede ser necesario repetir las cada pocos años, o según sea necesario. El trabajo de raspado es altamente calificado y puede ser peligroso; los trabajadores que se dedican al raspado deben recibir capacitación y el trabajo debe ser realizado por profesionales.

Las fotografías C29 y C30 muestran operaciones de raspado y recorte de rocas.



Figura C29. Rocas desplazadas por raspado y voladura. (Fotografía por el Departamento de Transporte del Estado de Washington, EE.UU).



Figura C30. Un martillo hidráulico de roca en acción, bajando la roca de la ladera. Esta es una alternativa a bajar las rocas mediante explosivos. (Fotografía por el Departamento de Transporte del Estado de Washington, EE.UU.)

Refuerzo de las áreas potenciales de derrumbe de rocas

Hormigón lanzado y “gunite”

El hormigón lanzado y el “gunite” son tipos de hormigón que se aplican mediante chorro de aire directamente sobre la superficie de una roca inestable. Hormigón proyectado es un término general que describe la pulverización de hormigón o mortero, ya sea usando un proceso de mezclado seco o de fase líquida. “Gunite” se refiere únicamente al proceso de mezclado en seco en el que se sopla la mezcla seca de cemento a través de una manguera a la boquilla, donde se le inyecta agua inmediatamente antes de la aplicación. Éste es un método rápido y sin complicaciones relativamente común utilizado para reforzar la superficie entre bloques de roca y también para reducir la erosión y el raspado de la superficie. El concreto lanzado contiene agregados de hasta 2 cm de diámetro y es más común que el “gunite”, que tiene agregados pequeños. Ambos materiales se pueden aplicar de forma inmediata mediante chorro de aire para cubrir grandes superficies en poco tiempo. La Figura C31 muestra una operación de hormigón lanzado en el lado de una carretera.



Figura C31. Operación de hormigón lanzado para estabilizar la zona de caída de rocas del Paso Wolf Creek en las Montañas Rocosas de Colorado, Estados Unidos. (Fotografía por el Departamento de Transporte de Colorado.)

Anclas, pernos y clavijas

Se trata de herramientas compuestas de varillas de acero o cables que refuerzan y unen una pared de roca para mejorar su estabilidad. Las anclas son miembros postensados utilizados para sostener grandes bloques de roca, mientras que los pernos son más cortos y sostienen la superficie de la roca. Las clavijas son similares a los pernos, pero no son postensadas. El fortalecimiento de una pendiente de roca con acero requiere los conocimientos de un especialista en análisis de la estabilidad de la roca, técnicas de sisado y procedimientos de prueba. La determinación de la orientación de las superficies de falla potenciales es crucial para un sistema eficaz de anclaje y requiere mucha experiencia en ingeniería. Las figuras C32 y C33 muestran pernos de roca y la instalación de pernos de roca a lo largo de una carretera.



Figura C32. Fotografía de primer plano de un anclaje de roca en una pared de roca, con una malla sobre la superficie para ofrecer más protección. El anclaje se fija en la roca a una profundidad de aproximadamente 5 metros (15 pies).



Figura C33. Una operación de empinado de roca; observe la roca rota (desmoronada). (Fotografía por el Departamento de Transporte del Estado de Washington, Estados Unidos).

Parte 3. Mitigación de corrientes de escombros

En esta sección se describen algunos métodos simples de mitigación de los riesgos que significan las corrientes de escombros para los propietarios de viviendas, negocios y otros. Se incluye una breve sección sobre el control de la erosión y los incendios, ya que la erosión, los incendios y las corrientes de escombros, así como las inundaciones que les siguen, son riesgos relacionados entre sí.

Fortalecimiento de las pendientes para el control de la erosión y las corrientes de escombros

La erosión puede agudizar las pendientes y alargar los barrancos y causar desprendimientos de tierra, material vegetal arrancado, rocas y cantos rodados, lo cual puede intensificar los efectos de las corrientes de escombros. Mantener una zona libre de material combustible que pueda causar incendios también puede ayudar en la mitigación de las corrientes de escombros, ya que las pendientes quemadas se vuelven más vulnerables a los efectos de la iniciación de las corrientes de escombros y la erosión (fig. C34). La pérdida de la vegetación que sostiene la tierra en su lugar y los cambios físicos y químicos del suelo que se derivan del intenso calor causado por los incendios hacen que este suelo sea más propenso a las corrientes de escombros.



Figura C34. Laderas quemadas por incendios forestales y la corriente de escombros que se produjo poco después del incendio de Lytle Creek, California, EE.UU. (Fotografía de Sue Cannon, Servicio Geológico de los Estados Unidos).

Erosión: Los procesos que hacen que los materiales de la corteza de la Tierra se aflojen, se disuelvan o se desgasten y luego se trasladen de un lugar a otro. El proceso incluye las acciones del viento, la lluvia, el hielo-deshielo, la intemperie y la abrasión física.

Fortalecimiento de la tierra para que resista la erosión

La erosión es un proceso que se debe tener en cuenta a la hora reforzar un área y pueden tomarse algunas medidas sencillas para reducir los efectos de la erosión. A veces la erosión puede dar lugar a la falla de las pendientes y a problemas de drenaje. Tratar de evitarlo es algo que un propietario puede hacer, de forma proactiva, antes de que surjan problemas mayores de fallas de la pendiente. La paja y las virutas de madera son eficaces para mantener la tierra en su lugar. Tienen la ventaja adicional de aumentar el contenido orgánico del suelo. Coloque una capa de virutas o de paja de medio centímetro (un cuarto de pulgada) de espesor según lo requiera la pendiente y las condiciones del suelo. Se pueden agregar fertilizantes. Incorpore el material en los pocos centímetros (o pulgadas) superiores del suelo.

Se puede colocar arpillera (un tejido suelto de yute, material fibroso cuyo coste suele ser bajo) en la ladera y atado con estacas para evitar que lo levante el viento o el agua. Los procedimientos de siembra usuales se pueden seguir antes de colocar la arpillera porque la tela no interfiere con el crecimiento de las plantas en la ladera. El yute se descompone con el tiempo, pero se mantendrá el tiempo suficiente para que la vegetación se establezca bien.

Sembrar plantas adecuadamente en las laderas puede prevenir la erosión

Mantenga las plantas regadas, pero no las riegue demasiado. Replante las zonas descubiertas o que hayan sido quemadas. Haga inspecciones durante las lluvias. Vigile que no se produzcan zanjas. Corrija lo antes posible los problemas.

Mantener las laderas libres de material combustible para evitar los incendios forestales

Las laderas quemadas en las zonas propensas a las corrientes de escombros pueden llegar a ser peligrosas, ya que aumentan la probabilidad y la intensidad de las corrientes de escombros cuando los taludes están saturados por las lluvias. Los propietarios de viviendas y las empresas deben conservar las propiedades libres de material combustible excesivo que pueda producir incendios forestales. Esto puede detener la propagación de incendios forestales o la quema de grandes áreas. Los incendios forestales pueden despojar las laderas de vegetación y pueden cambiar la química del suelo, lo cual puede intensificar el peligro de las corrientes de escombros. Deben reducirse a un mínimo los montones de ramas secas, la vegetación muerta y otros materiales combustibles que se pueden acumular en las propiedades para impedir que se inicien o se propaguen los incendios forestales. Muchas comunidades tienen directrices locales sobre el control de los materiales combustibles y dan consejos prácticos sobre la limpieza de las propiedades. Los municipios pueden tomar medidas comunitarias para sancionar la quema no autorizada de basura, por ejemplo a través de ordenanzas locales. Los incendios causados por rayos son de origen natural, pero se pueden tomar medidas que impidan la propagación de este tipo de incendios forestales controlando la cantidad de material combustible disponible. Para la quema de tierras de cultivo (rozas), por

Nota: Hay que recordar que las inundaciones, deslaves de tierra y corrientes de escombros (conocidos algunos de éstos comúnmente como “deslizamientos de lodo”) tienen muchas de las mismas características y, en general, pueden tratarse de maneras similares. Las inundaciones, “aludes de lodo” y corrientes de escombros a veces se presentan al mismo tiempo, pero no siempre.

ejemplo, se recomienda que los residentes que viven en pendientes pronunciadas estén atentos para que los incendios no se descontrolen y se extiendan a otras áreas.

Estructuras para la mitigación de las corrientes de escombros

Cuencas de corrientes de escombros

Estas cuencas de captación suelen construirse en la base de las laderas donde son frecuentes las corrientes de escombros (fig. C35). Se utilizan especialmente en las zonas donde se deben contener los escombros de manera que la tierra y los escombros no desemboquen en el océano o en las zonas ribereñas o donde hay estructuras al pie del talud que son vulnerables a los daños producidos por las corrientes de escombros. Estas cuencas se llenan con el tiempo con los depósitos y deben vaciarse periódicamente para evitar que se desborden. Por lo general, se necesitan equipos grandes tales como camiones de volteo y palas mecánicas para vaciar los escombros y llevarlos a los depósitos de basura. Sin embargo, las cuencas pequeñas pueden vaciarse manualmente. Deben diseñarse para que puedan contener los volúmenes máximos de una zona para evitar que rebalsen cuando haya un aumento de la corriente de escombros.



Figura C35. Fotografía aérea de una bacía de fluxos de detritos, construída no fundo de uma encosta, em San Bernardino, Califórnia, EUA. (Fotografia por Doug Morton, US Geological Survey).

Diques de contención

Véase en el Apéndice C, “Parte 1. Estabilización / Mitigación de la tierra de las pendientes” una explicación de cómo se pueden utilizar también los diques de contención para reducir los riesgos de las corrientes de escombros.

Muros de Contención para Corrientes de Escombros

Éstas son estructuras que se pueden construir de diversos tipos de materiales. Están diseñadas para detener el progreso de la caída de escombros, ya sea bloqueando la corriente del flujo o desviándola alrededor de un área vulnerable. Estas estructuras deben diseñarse cuidadosamente, ya que todo desvío del material puede redirigirse involuntariamente hacia nuevas zonas vulnerables (Figs. C36 y C37).



Figura C36. Se debe tener precaución en la localización y la construcción de muros de contención de la corriente de escombros. Esta es una fotografía de la falla parcial de un muro de contención, causada por un derrumbe en Iztapalapa, un suburbio de la Ciudad de México, México. Las fuertes lluvias en la zona hicieron que la tierra se deslizara sobre una casa al pie del talud, matando a dos personas. La casa estaba por debajo de la pared de 5 metros de altura, pero la pared no pudo soportar la masa de rocas y tierra. (Fotografía de Chinagate / Xinhua.)



Figura C37. Un muro de contención de la corriente de escombros en la Cuenca de Kamikochi, Japón. (Fotografía cortesía de Gonzalo Vieira.)

Mitigación de las corrientes de escombros para el dueño de casa

En esta sección se proponen algunas medidas simples que puede tomar el propietario de una casa o que puede recomendar un administrador de emergencias para ayudar a las personas a mitigar los efectos de la erosión, que en muchos casos puede dar lugar a corrientes de escombros y algunos deslizamientos de tierra.

Las figuras C38 a C52 que siguen muestran esquemas de técnicas de mitigación de corrientes de escombros que pueden ser útiles para proteger las estructuras. Las ilustraciones son modificaciones de las que se encuentran en la Referencia 20, un folleto publicado para los propietarios de Los Ángeles, California, EE.UU., por el Departamento de Obras Públicas del Condado de Los Ángeles, que muestra una metodología sencilla para reducir los peligros de las inundaciones, la erosión y los deslaves.



Figura C38. Esquema de una casa sin protección, en el trayecto de un flujo de escombros y (o) "alud de lodo". Los métodos sugeridos para reducir el riesgo de las corrientes de escombros se muestran en la figura C39.

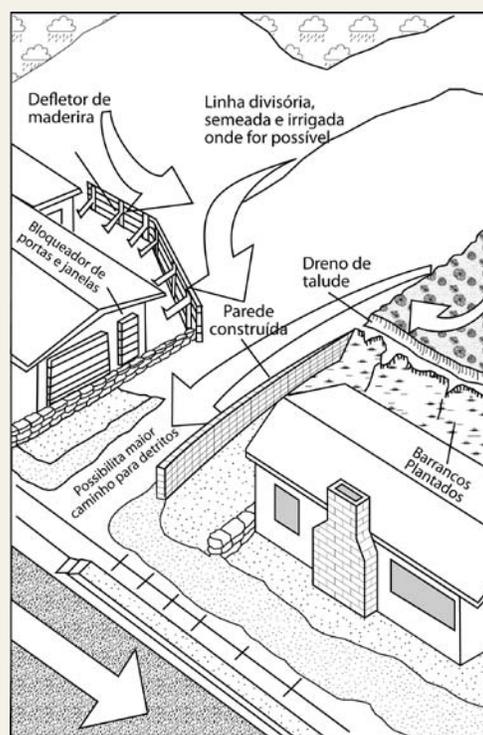


Figura C39. Ejemplo esquemático de una casa dotada de estructuras de protección. Muestra la construcción de muros y cercas de deflexión de escombros. Debido a la fuerza extrema del impacto asociado con algunas corrientes de escombros, estas y otras estructuras deben diseñarse y construirse cuidadosamente.

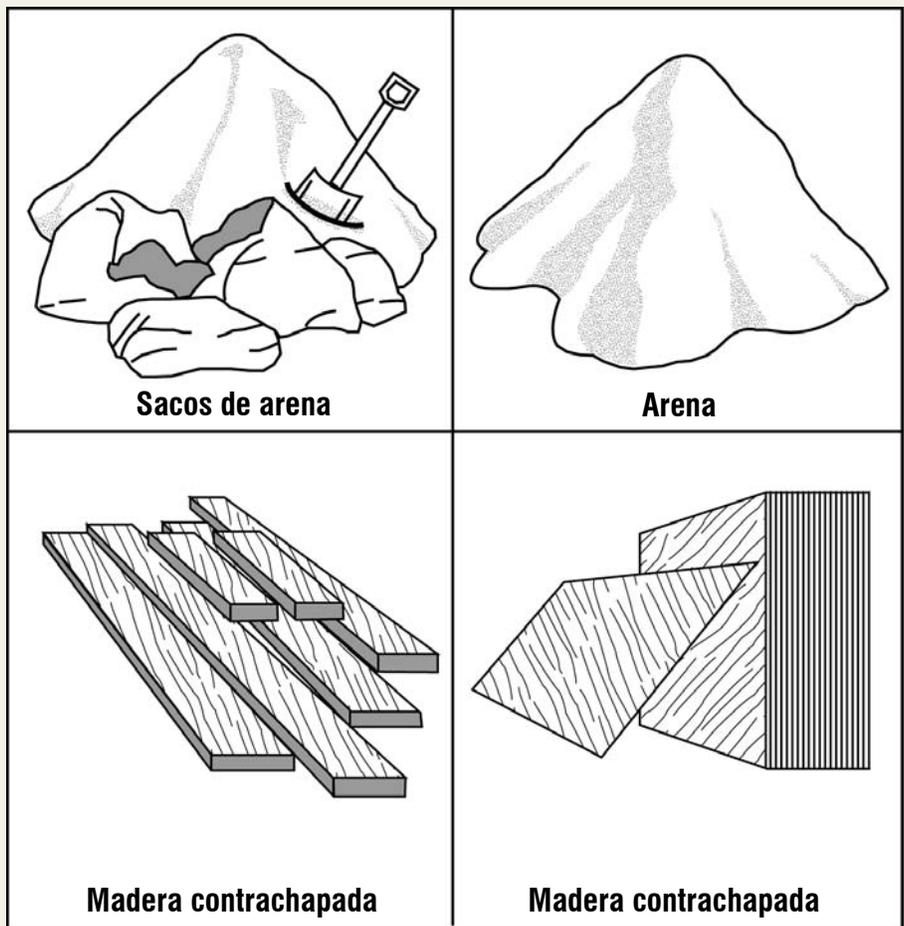


Figura C40. Esquema de materiales típicos, que se consiguen en muchas regiones del mundo, para ayudar a reducir los daños causados por las inundaciones / corrientes de escombros fuertes.



Figura C41. Los sacos de arena sirven básicamente para proteger contra corrientes bajas de hasta 0,6 metros (2 pies). Para proteger de corrientes más altas se necesita una estructura de tipo más permanente. Cabe señalar que los sacos de arena no impermeabilizan para impedir la entrada del agua.

Nota: El material ideal para sacos de arena es la arena. Las bolsas no se deben llenar con astillas de madera, papel, basura u otros materiales. Los sacos de arpillera llenos de arena y tierra se deterioran al quedar expuestos durante varios meses a humedecimiento y secado constante. Si las bolsas se colocan demasiado pronto, pueden no ser eficaces cuando se necesiten.

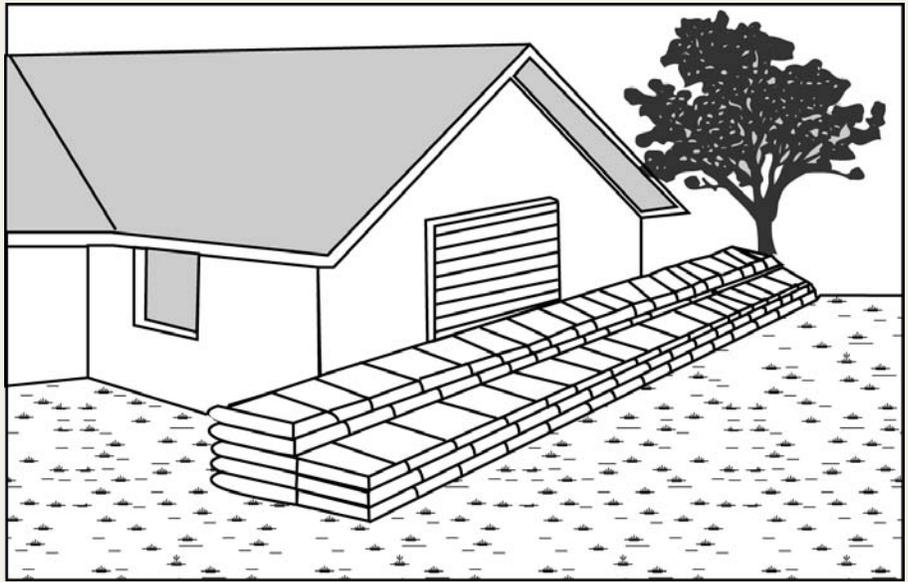


Figura C42. Esquema típico para la colocación de sacos de arena para la protección de las casas (la distribución y la orientación pueden variar según las situaciones individuales).

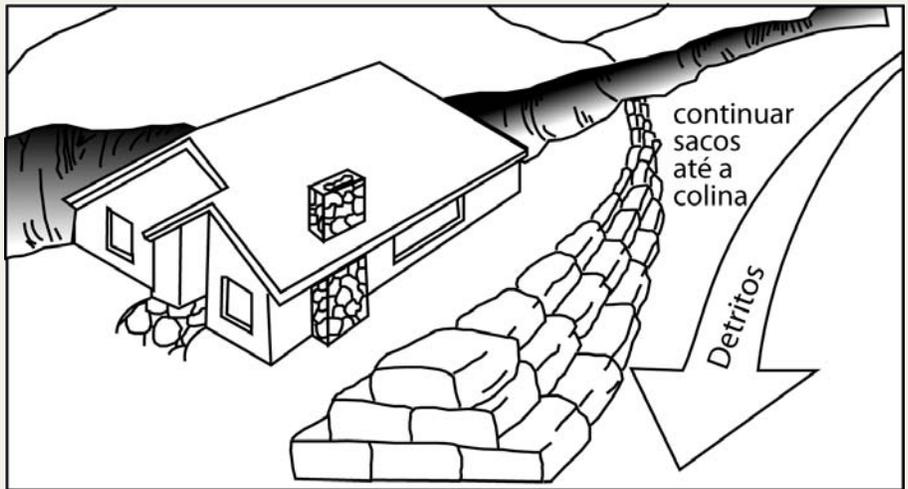


Figura C43. Los sacos de arena para ayudar a desviar los escombros de los edificios.

Precaución: No es aconsejable usar paja o pacas de heno en vez de sacos de arena. No trabajan tan bien como los sacos de arena y pueden ser arrastrados por el agua.

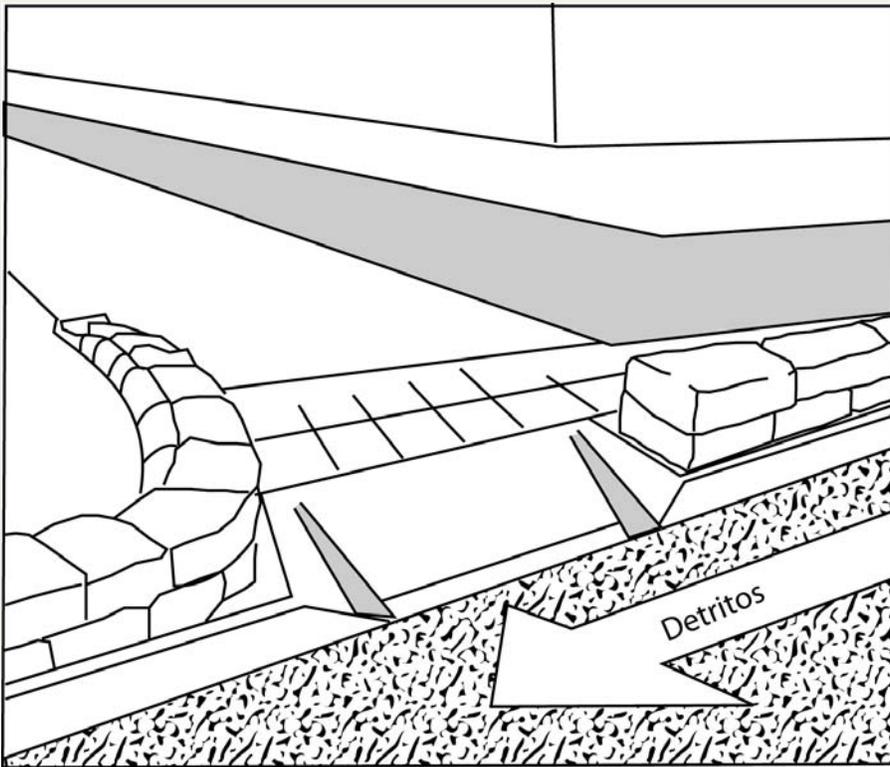


Figura C44. Control de las corrientes de escombros después de una tormenta en las calles con sacos de arena.

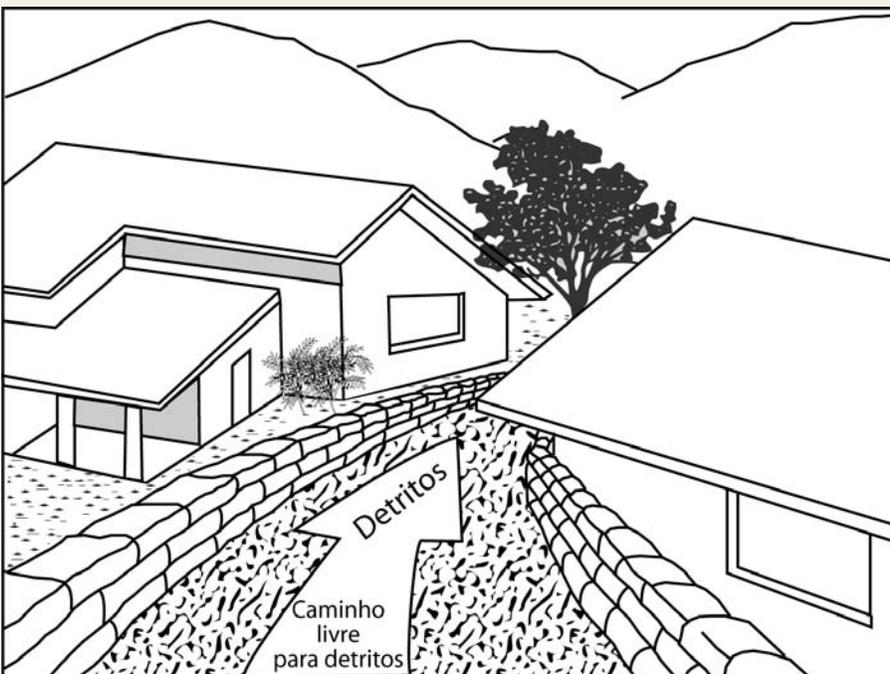


Figura C45. Desvío de la corriente entre los edificios mediante el uso de sacos de arena.

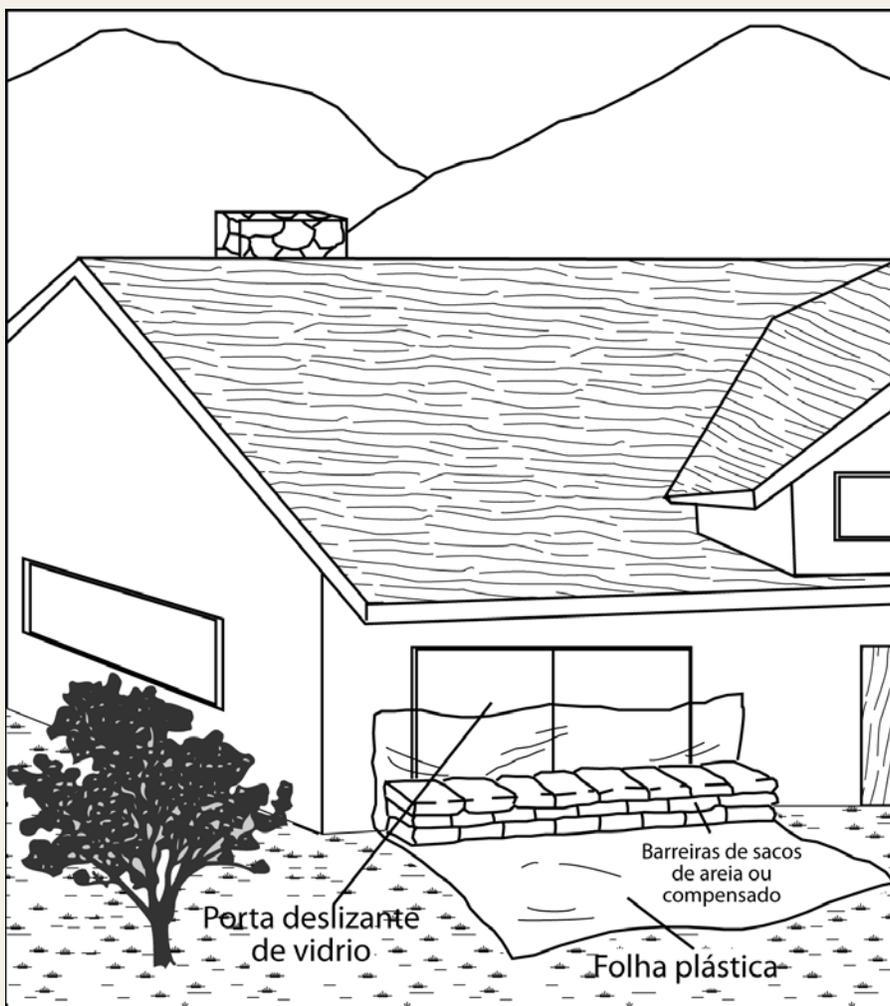


Figura C46. Sellado de puerta corrediza de vidrio - Control de las corrientes para evitar que se filtren por la puerta corrediza de vidrio mediante el uso de bolsas de arena y láminas de plástico. Barrera desmontable de protección de puertas, protección de ventanas.

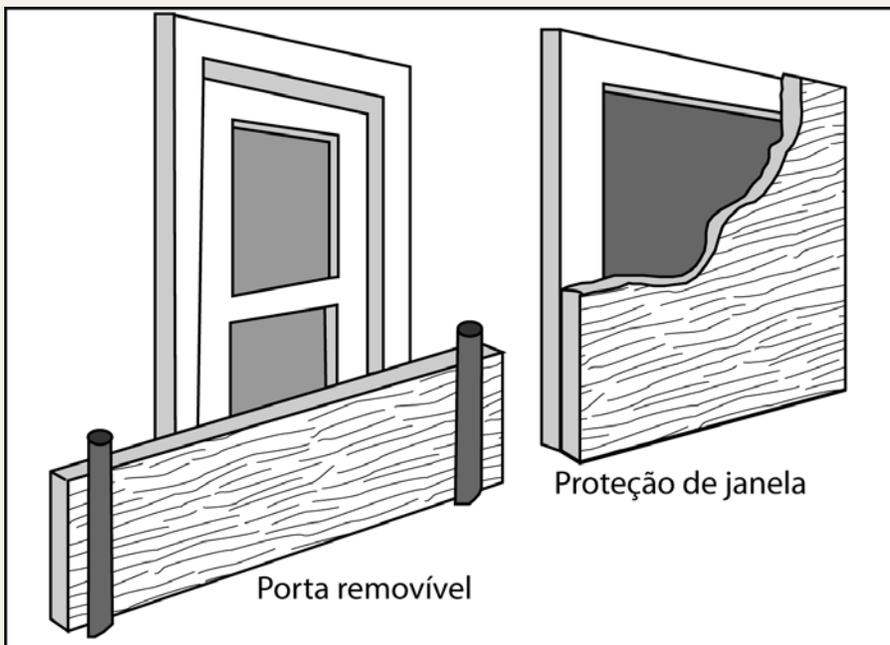


Figura C47. Protección típica de ventanas y puertas usando madera desmontable.

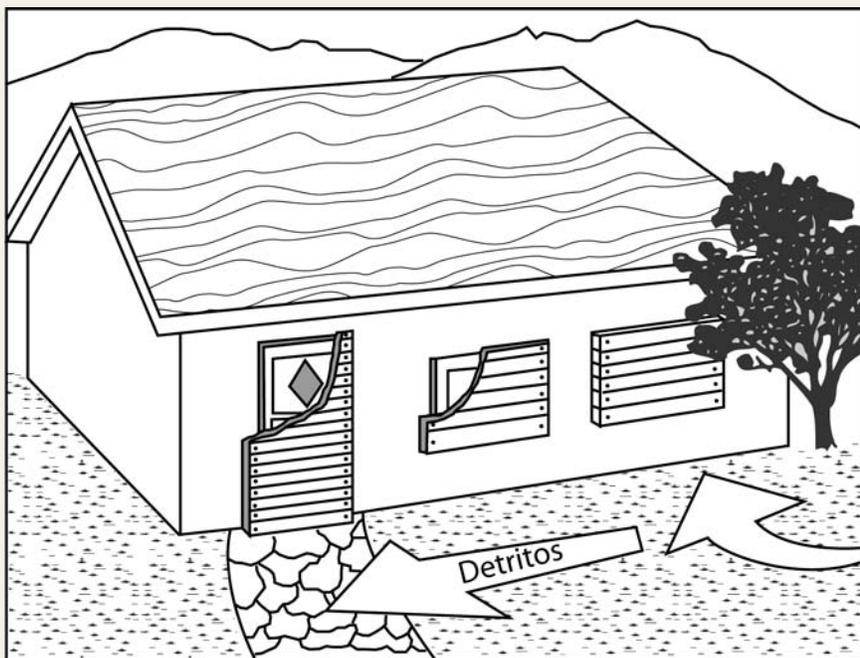


Figura C48. Clavado de madera contrachapada o madera para la protección de ventanas y puertas. Límite de 1/2 estaca a deflector de escombros de 3 pies de alto - tierra compactada para ofrecer más resistencia.

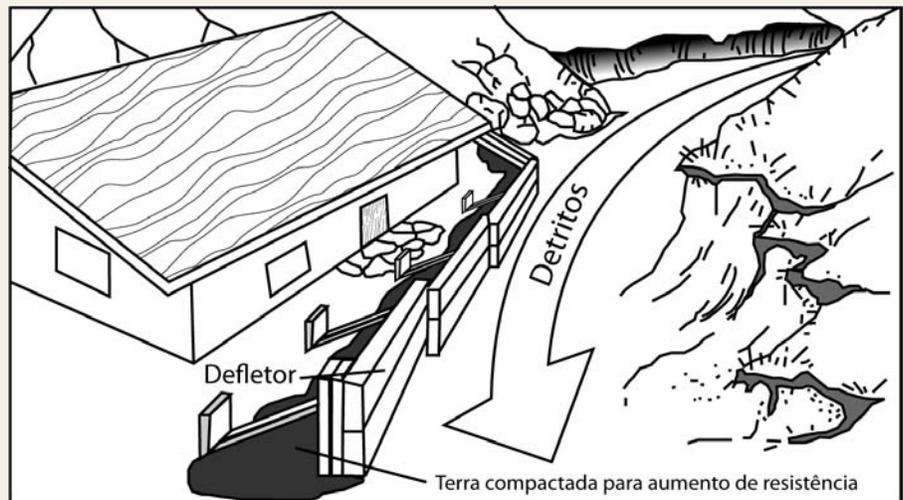


Figura C49. Deflector de madera, que es más permanente que los sacos de arena.

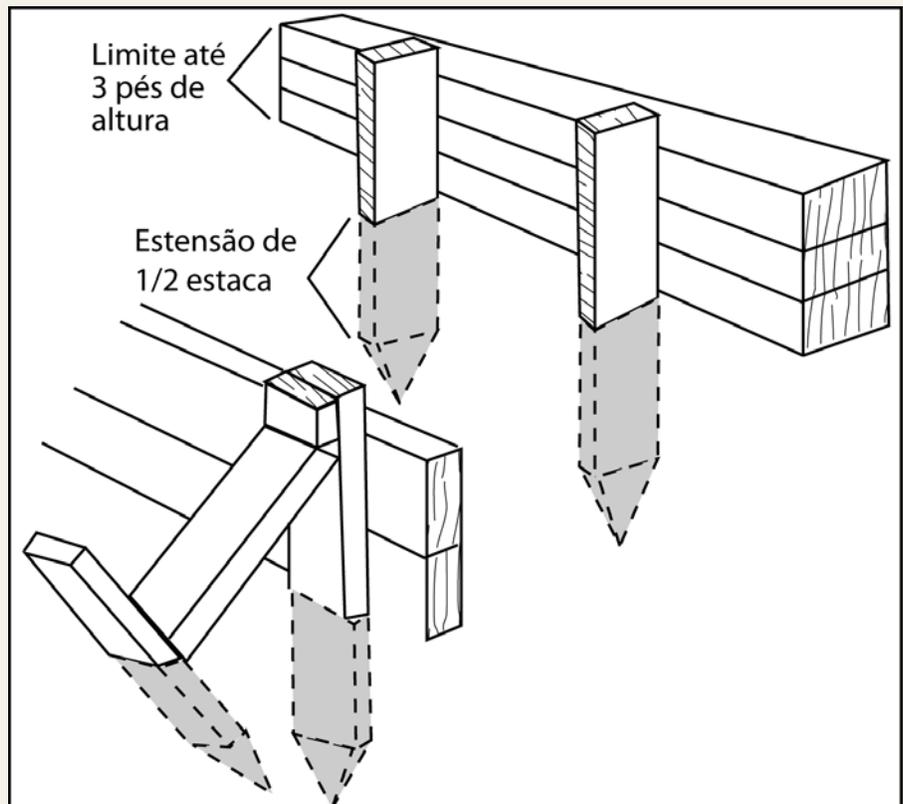


Figura C50. Primer plano esquemático de técnica de instalación de un deflector de madera.



Figura C51. Una alternativa de los deflectores de la madera – secciones de poste de teléfono o durmientes de ferrocarril.

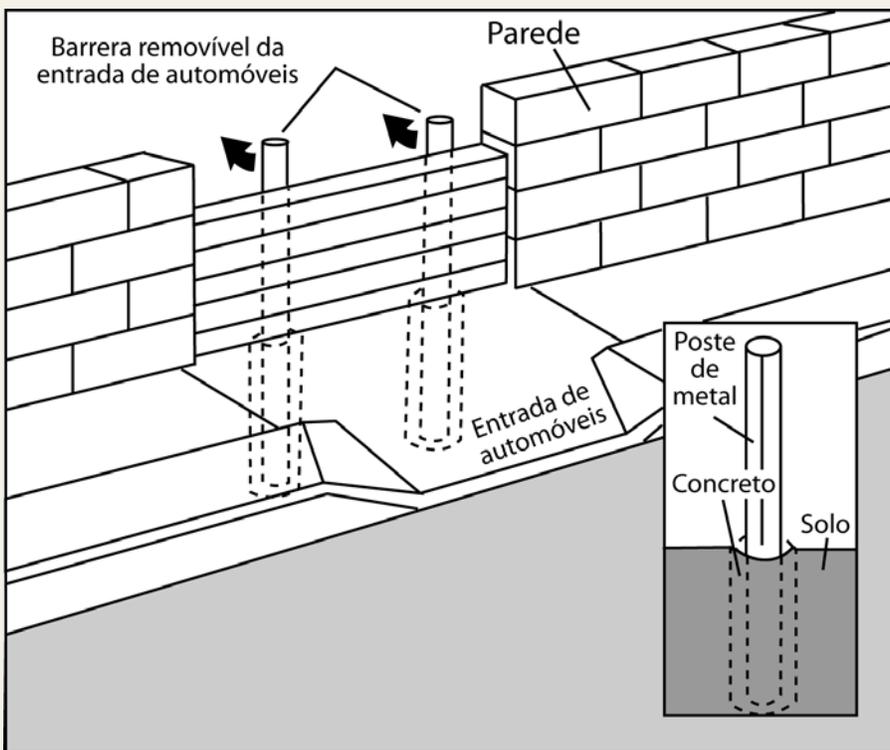


Figura C52. Barrera de camino de entrada desmontable. Los postes de metal se pueden quitar y poner, según sea necesario, ya que entran flojos en cubiertas de concreto en el suelo.

Cosas básicas que hay que recordar en cuanto a mitigación y respuesta a las corrientes de escombros y otros peligros de deslizamiento / Respuesta a emergencias

Los sacos de arena, las herramientas y las hojas de plástico pueden ser útiles durante las lluvias fuertes (el plástico puede utilizarse para proteger e impermeabilizar algunos artículos). Téngalos siempre disponibles, siempre que sea posible. Ayude a otros en la comunidad que tal vez no sean capaces de reforzar sus viviendas, como los discapacitados o los ancianos. Eduque a los niños en técnicas de mitigación. Las técnicas de mitigación son más efectivas cuando las usan tantos miembros de una comunidad como sea posible.

- Si surgen grietas poco usuales, hay asentamiento o deslizamiento de tierras, se recomienda que la gente consulte a un agente municipal (por ejemplo un administrador de emergencias) y (o) un ingeniero civil o geólogo calificado tan pronto como sea posible.
- Se sugiere que no se alteren las laderas o zonas de drenaje sin el asesoramiento de expertos. Siempre es aconsejable consultar a un profesional o alguien con experiencia en este tipo de trabajo.
- El drenaje normal de la propiedad corre por lo general hacia a la calle o un dispositivo de drenaje aprobado. Al diseñar los jardines, los propietarios u otras personas deben evitar interrumpir los pasos naturales de las corrientes creados cuando se niveló originalmente la propiedad. Obstrucciones tales como patios, aceras y pérgolas no se deben colocar en surcos laterales a menos que se instale un método alternativo de drenaje.
- Coloque ilustraciones en forma de esquemas sencillos en lugares públicos, para ayudar a la población a aplicar técnicas de mitigación.
- Es aconsejable contar con un plan de respuesta a emergencias para la evacuación y el reasentamiento de las poblaciones amenazadas por riesgos de derrumbes. Por lo general, conviene asegurarse de que todos conozcan de estos procedimientos.

Mitigación mediante diques contra los deslizamientos

Como se mencionó anteriormente, el peligro principal de los deslizamientos de tierra son las inundaciones que pueden ocurrir cuando falla un dique contra deslizamientos de tierra o las inundaciones que se producen cuando el dique se rebalsa por la corriente continua de agua que se acumula detrás del mismo. Las siguientes medidas pueden aplicarse cuando las comunidades se enfrentan a los peligros potenciales de los diques contra deslizamientos:

Desvío de los caudales de ingreso antes de llegar al lago formado por el dique contra deslizamientos de tierra

Esto puede hacerse desviando el agua de la corriente a los embalses aguas arriba o sistemas de riego. Aunque por lo general ésta sólo es una medida temporal, el desvío puede retrasar el llenado del lago lo suficiente como para permitir la aplicación de una solución más a largo plazo.

Drenaje temporal del embalse por medio de bombas o sifones

El aumento del nivel del agua puede controlarse temporalmente por medio de bombas o sifones, haciendo que el agua fluya sobre el punto más bajo del dique. Esta suele ser una medida de corto plazo (menos de 1 a 2 años) que da tiempo para encontrar soluciones más amplias, de largo plazo.

*Para obtener más información y lecturas adicionales:
Referencias 11, 12, 13, 20, 25, 26, 39, 42 y 46*

Construcción de un aliviadero resistente a la erosión

El método más común de estabilizar un dique contra deslizamientos de tierra es construir un aliviadero o vertedero de canales abiertos resistente a la erosión ya sea a través del dique o a través de un pilar adyacente. Cuando el agua se rebalse, el vertedero controla la corriente de la misma forma que se construyen aliviaderos de emergencia en represas diseñadas para controlar el nivel del agua. Una ventaja adicional de este tipo de vertedero es que permite la reducción del nivel del agua detrás del dique, lo que ayuda a disminuir la inundación aguas arriba que pueden provocar los diques contra deslizamientos.

Los aliviaderos o vertederos no siempre consiguen impedir que el dique falle y que se produzcan inundaciones aguas abajo; a veces fallan debido a la erosión regresiva (erosión de la salida del aliviadero a su entrada) causada por la corriente de salida de alta velocidad. Para evitar la erosión reduciendo al mínimo la velocidad de la corriente, el vertedero debe ser ancho y poco profundo. Si es posible, debe estar revestido con materiales resistentes a la erosión (comúnmente escollera), especialmente en la salida. A menudo, los diques de contención se instalan a lo largo de las pendientes más empinadas del vertedero para evitar la erosión. Los vertederos que fallan debido a la erosión puede haber tenido éxito parcial debido a que limitan el volumen total del agua detrás del dique, lo que reduce la descarga total, incluso si un muro se rompe por completo.

Los aliviaderos de canal abierto a través del dique contra deslizamientos suelen excavar con excavadoras; sin embargo, se han utilizado dragas, excavadoras, explosivos y mano de obra. La excavación puede ser peligrosa en terreno accidentado, por lo que es preciso construir una vía de acceso.

Túnel de drenaje a través de un pilar

Un método de larga duración para la prevención de rebases y fallas en un dique contra deslizamiento de tierra es la construcción de un túnel de desvío a través de un pilar de dique adyacente. Debido a que los grandes diques contra deslizamientos suelen encontrarse en los cañones de montaña, por lo general tienen pilares de lecho de roca, por lo que se utilizan comúnmente métodos para horadar la roca. La figura C53 muestra el deslizamiento de tierras de Thistle, Utah, en los Estados Unidos, provocado por El Niño de 1983. Las fuertes lluvias del otoño anterior y del deshielo causaron rápidamente una falla masiva. Para obtener más información véase la referencia 31.

El derrumbe de Thistle destruyó también secciones de una importante carretera y un tramo principal de una vía férrea. Después de excavar un túnel, los trenes de montaña pudieron seguir viajando por esa la ruta. La carretera (autopista) se desvió sobre un collado, lejos de la masa movilizada por el deslizamiento (fig. 54).

El derrumbe se dejará como está, ya que es demasiado masivo para eliminar. El Estado de Utah sigue vigilando el deslizamiento de tierra con instrumentación y se ha reactivado recientemente. La reactivación es otro peligro de los diques contra deslizamientos, como sucedió en Thistle (fig. C55).



Figura C53. El derrumbe Thistle en Utah, EE.UU., 1983. Este deslizamiento de tierra embalsó un río, lo cual creó un lago (llamado “Lago Thistle”) detrás de la presa, inundando la ciudad de Thistle. (Fotografía de Robert L. Schuster, Servicio Geológico de los Estados Unidos.)



Figura C54. Primer plano de las medidas de mitigación adoptadas para reducir el impacto del dique contra deslizamientos Thistle, que muestra el túnel para el río y el túnel de desvío de desbordamiento. (Fotografía cortesía del Servicio Geológico de Utah).

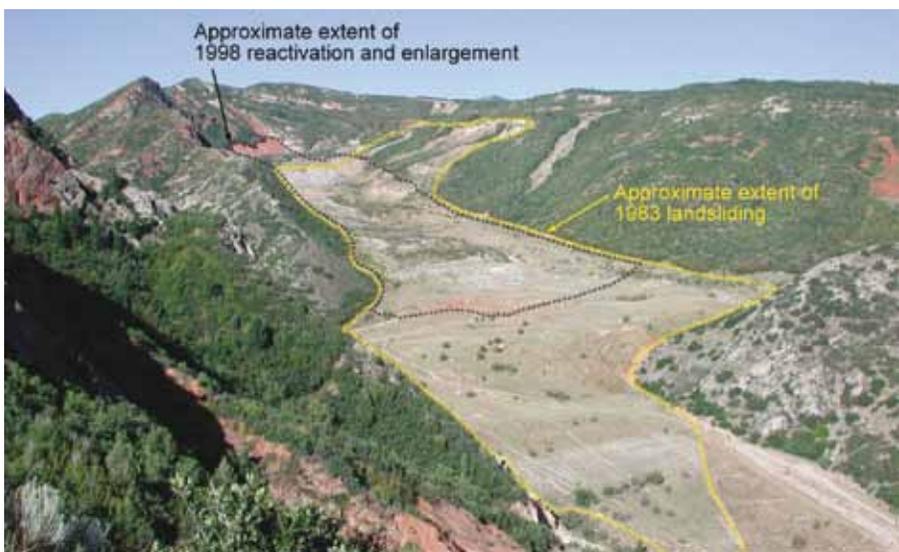
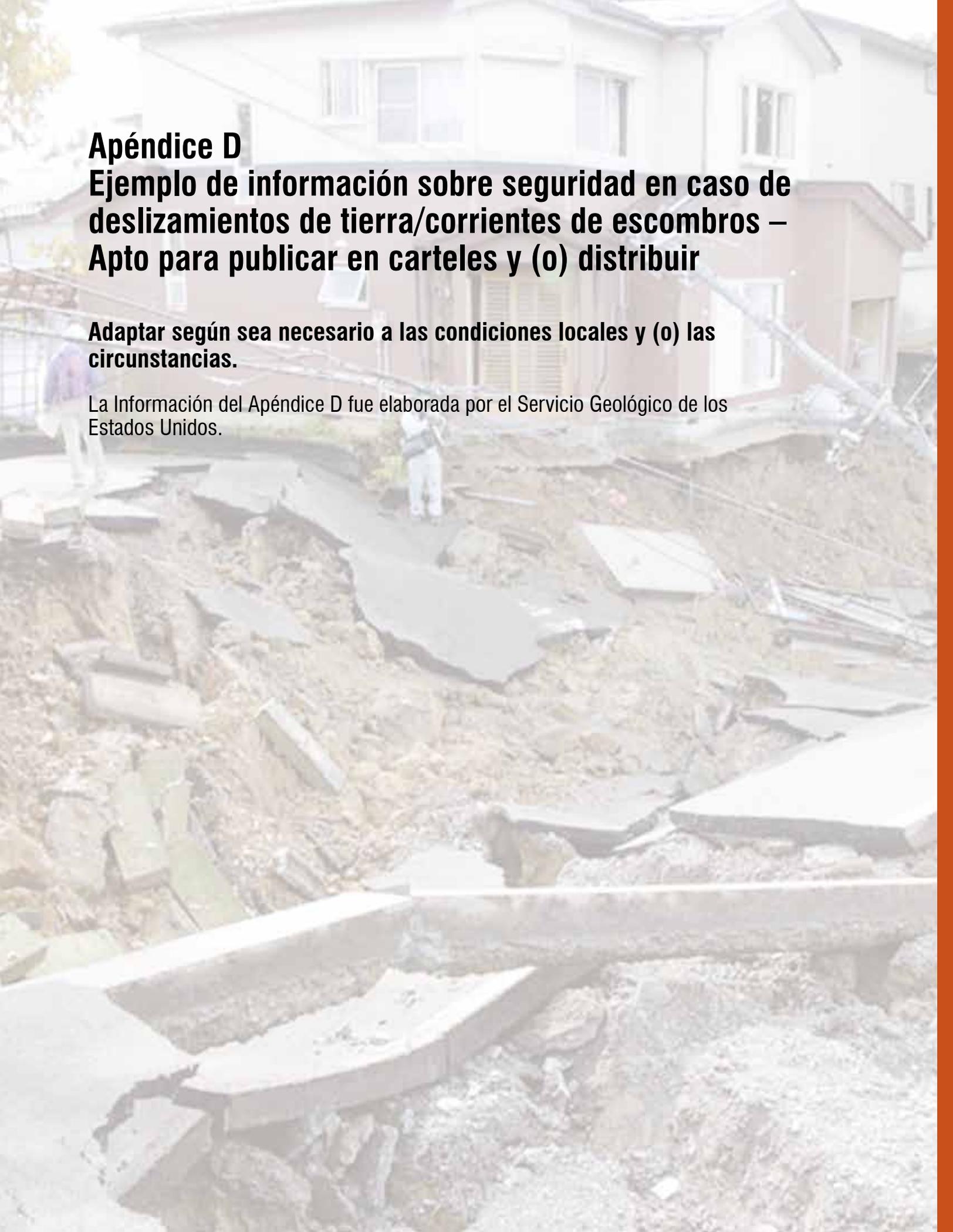


Figura C55. Fotografía con anotaciones que muestra la reactivación y ampliación del dique contra deslizamientos Thistle. (Fotografía cortesía del Servicio Geológico de Utah.)



Apéndice D

Ejemplo de información sobre seguridad en caso de deslizamientos de tierra/corrientes de escombros – Apto para publicar en carteles y (o) distribuir

Adaptar según sea necesario a las condiciones locales y (o) las circunstancias.

La Información del Apéndice D fue elaborada por el Servicio Geológico de los Estados Unidos.

¿Qué puede hacer si vive cerca de colinas escarpadas?

Antes de tormentas intensas:

- Familiarícese con la tierra a su alrededor. Sepa si se han producido corrientes de escombros en su área poniéndose en contacto con funcionarios locales, funcionarios de manejo de emergencias, servicios geológicos o departamentos de recursos naturales del Estado y departamentos universitarios de geología. Es probable que en las pendientes donde se han producido en el pasado corrientes de escombros, éstas se repitan el futuro.
- Apoye a su gobierno local en las medidas que toma para elaborar y hacer cumplir las ordenanzas que regulan el uso del suelo y la construcción en zonas susceptibles a deslizamientos de tierra y corrientes de escombros. Los edificios deben ubicarse lejos de pendientes fuertes, arroyos y ríos, canales de flujo intermitente y bocas de canales de montaña.
- Observe las modalidades del drenaje de aguas pluviales en las laderas cercanas a su casa y tenga en cuenta especialmente los lugares donde converge el agua de escorrentía, que aumentan la corriente sobre las laderas cubiertas con tierra. Mire las laderas alrededor de su casa para detectar cualquier signo de movimiento de tierra, tales como pequeños deslizamientos o corrientes de escombros o inclinación progresiva de los árboles.
- Póngase en contacto con las autoridades locales para conocer los planes de respuesta y evacuación de emergencia para su área y desarrolle sus propios planes de emergencia para su familia y negocio.

Durante tormentas intensas:

- ¡Manténgase alerta y permanezca despierto! Muchas de las muertes causadas por corrientes de escombros ocurren cuando las personas están durmiendo. Escuche la radio para oír avisos de lluvia intensa. Tenga en cuenta que ráfagas intensas de lluvia pueden ser particularmente peligrosas, sobre todo después de largos periodos de fuertes lluvias y clima húmedo.
- Si usted está en una zona susceptible a deslizamientos de tierra y corrientes de escombros, considere la posibilidad de salir si es seguro hacerlo. Recuerde que viajar durante una tormenta intensa es peligroso.
- Esté atento a cualquier sonido insólito que pudiera indicar movimiento de escombros, como árboles que crujen o rocas que chocan entre sí. Un chorrillo de agua o barro o escombros que caen pueden preceder a una corriente mayor. Si usted está cerca de un arroyo o canal, esté atento a cualquier incremento o disminución repentina en la corriente de agua y a cambios de agua clara a agua fangosa. Estos cambios pueden indicar corrientes de escombros aguas arriba, así que prepárese para salir rápidamente. ¡No se demore! Sálvase a sí mismo, no sus pertenencias.
- Esté especialmente alerta al conducir. Los terraplenes a lo largo de las carreteras son especialmente susceptibles a deslizamientos de tierra. Observe el camino para ver si hay pavimento colapsado, lodo, rocas caídas y otras indicaciones de posibles corrientes de escombros.

Qué hacer si sospecha que hay peligro inminente de derrumbe:

- Evacuar, si es posible.
- Contacte a su departamento de bomberos, de policía o de obras públicas.
- Informe a los vecinos afectados.

Después de producirse deslizamientos de tierra:

- Lo mejor es mantenerse alejado de la zona del deslizamiento, ya que puede haber peligro de derrumbes adicionales; sin embargo, esto no siempre es posible o deseable.
- Compruebe si hay personas heridas o atrapadas cerca de la zona del derrumbe. Administre primeros auxilios si está entrenado y pida ayuda.
- Recuerde ayudar a sus vecinos que requieran asistencia especial: niños, ancianos y personas con discapacidad.
- Escuche una radio de pilas o la televisión para obtener la información más reciente sobre la emergencia.
- Recuerde que puede haber inundaciones después de una corriente de lodo o una avalancha.
- Compruebe si hay líneas de servicios públicos dañados. Comunique cualquier daño a la empresa de servicios públicos.
- Revise los cimientos del edificio, la chimenea y las tierras circundantes para determinar si sufrieron daños.
- Replante el terreno dañado lo antes posible, ya que la erosión causada por la pérdida de la cubierta vegetal puede llevar a una inundación repentina.
- Solicite el asesoramiento de expertos geotécnicos para evaluar los riesgos de deslizamientos de tierra o diseñar técnicas correctivas para reducir el riesgo de derrumbes.

Índice

- A**
Abanico alluvial
- C**
Caída de rocas
Coluvión
Corrientes de lodo
- D**
Derribo
Deslizamientos rotativos
Deslizamientos de translación
Desprendimientos de roca
- E**
Emergencia
Epicentro
Estrés
- F**
Factor de seguridad
Filtración
Fractura
- G**
Geomorfología
- H**
Hidráulica
Hidrología
- I**
Incendios forestales
Intemperización diferencial
- L**
Lahar
Licuefacción
LiDAR
Litología
Loess
- M**
Mapa geologic
Mapas de inventario de deslizamientos:
Mapa de riesgo de deslizamientos
Mapa de susceptibilidad a deslizamientos
Mecánica de suelos
Mediciones geodésicas
Mitigación
Modelo de Elevación Digital (MED)
Modelo Digital del Terreno (MDT)
- P**
Peligro geológico
Perfiles acústicos
Pozo
Presa de deslizamiento:
Presas de retención
Propagaciones laterals
- R**
Reconocimiento aereo
Reconocimiento de terreno
Relieve
Riesgo
- S**
Sistema de Información Geográfica (SIG)
Suelos expansivos
Suelos hinchados
Sturzstrom
- T**
Tracción
- Z**
Zonificación

Apoyo para Publicación de:
Denver Publishing Service Center
Manuscrito aprobado para su publicación el 05 de mayo 2008
Editado por Mary Kidd
Diseñado y elaborado por Margo VanAlstine con la ayuda de Carol Quesenberry

Para obtener más información sobre esta publicación, comuníquese con:
Team Chief Scientist, USGS Geologic Hazards
Box 25046, Mail Stop 966
Denver, CO 80225
(303) 273-8579

O visite el Geologic Hazards Team Web en:
<http://geohazards.cr.usgs.gov/>

La publicación de la versión en español de este libro fue posible gracias a una donación de la Global Facility for Disaster Reduction and Recovery - GFDRR/World Bank

Diseño gráfico: miki@ultradesigns.com

