

6. METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS INVENTARIO DE MOVIMIENTOS DE LADERA

6.1. Introducción

A continuación se desarrolla la metodología para realizar el mapa inventario de movimientos de ladera.

El objetivo es la preparación de un mapa que represente los movimientos de ladera ocurridos en el área de estudio, actuales y antiguos, indicando sus características principales y, opcionalmente, los factores más importantes que los condicionan.

La metodología consta de las siguientes fases sucesivas:

- Recopilación y revisión de información existente
- Reconocimientos de campo
- Elaboración del mapa inventario a escala 1:50.000
 - Elementos a representar (contenido del mapa)
 - Métodos de representación

El mapa inventario debe incluir todos los movimientos ocurridos hasta la fecha de elaboración del mapa, representando las inestabilidades puntualmente o zonalmente. Puede incluir información adicional que indique el tipo de movimiento, la edad, la actividad, la litología del material movilizado, etc. La información contenida y su representación estarán en función de la escala y del nivel de detalle de la cartografía y del tamaño de las inestabilidades.

Los trabajos que se describen en los apartados siguientes deben considerarse como los mínimos a desarrollar para la realización del mapa. Se incluyen las líneas básicas de la metodología a seguir para la preparación de los mapas. En el Capítulo 5 del Documento 1 “Directrices técnicas para la realización de inventarios y zonificación de la susceptibilidad y peligrosidad por movimientos de ladera en el Plan Prigeo” se incluyen descripciones y especificaciones para el desarrollo de las diferentes fases que aquí se presentan, así como las indicaciones necesarias para llevar a cabo cada una de las actividades encaminadas a la realización de las cartografías.

6.2. Recopilación y revisión de información existente

En la fase inicial del estudio se llevará a cabo la recopilación de la información existente sobre la zona referente a los procesos de inestabilidad de laderas naturales y los factores

relacionados. Entre las labores básicas a realizar se incluyen:

- Revisión de mapas geológicos, topográficos, geomorfológicos, geotécnicos y otros que pudieran contener información sobre procesos activos y antiguos, y sobre los factores condicionantes de los movimientos de ladera: litologías, pendientes...
- Examen de fotografías aéreas para identificación de deslizamientos y zonas inestables.
- Revisión de informes geológicos, geotécnicos, publicaciones técnicas y científicas, etc. sobre la zona de estudio en relación a los movimientos de ladera.
- Información disponible sobre eventos pasados a partir de otras fuentes documentales, prensa, archivos locales, encuestas a la población local, etc.

6.3. Reconocimientos de campo

Trabajos geológicos de campo:

- Identificación en campo de procesos actuales y antiguos.
- Identificación de rasgos, indicios, grietas, escarpes, depósitos de deslizamientos, bloques caídos, otros factores morfológicos, geológicos, litológicos, etc. asociados a movimientos de ladera.
- Identificación de daños en edificaciones, postes, árboles...

Los métodos y técnicas para identificación de movimientos de laderas, actuales o antiguos, y de zonas inestables consisten, básicamente, en la búsqueda de rasgos propios de estos procesos (grietas, formas erosivas, de acumulación, depósitos característicos...), y en la búsqueda de criterios y signos asociados a su aparición (daños producidos, señales en la vegetación...). Estos mismos indicadores de campo pueden servir para la identificación de movimientos de ladera en los diferentes tipos de mapas disponibles (topográficos, geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, etc.) y en fotografías aéreas, siempre en función de la escala de trabajo. Wold y Jochin (1989) recogen con detalle las diferentes técnicas y métodos de identificación de inestabilidades de ladera, incluyendo técnicas que abarcan desde el estudio de las curvas de nivel al de los sistemas de drenaje y el comportamiento hidrogeológico de los materiales, la vegetación, la disposición estratigráfica y estructural del terreno, etc. Diferentes procedimientos para la detección de áreas inestables se incluyen en Corominas (1988).

En el Cuadro 3 se incluyen algunas de las características más destacables para reconocer los diferentes tipos de movimientos de ladera.

A partir del análisis y valoración de la información recopilada en esta fase y en la anterior:

- Se realizará un **primer diagnóstico** para evaluar la incidencia de los movimientos de ladera en la zona.
- Se valorará si hay **peligro** o no de ocurrencia de nuevos movimientos, y el estado de actividad de los identificados.
- Se decidirá si es necesario hacer **trabajos complementarios** de campo, para completar la caracterización de los movimientos existentes.
- Se decidirá si se realiza o no el **mapa inventario**.

Cuadro 3. Algunos rasgos generales característicos para la identificación de movimientos de ladera (González de Vallejo et al., 2004)

Tipo de movimiento	Zona de cabecera y parte superior de la ladera	Pendientes y dimensiones	Zona baja de la ladera
Desprendimientos	Laderas irregulares y rocosas escarpadas con material suelto o derrubios en la parte superior Bloques independizados por discontinuidades o fracturas Grietas tras el talud Vegetación escasa	Pendientes elevadas > 50°	Acumulación de bloques y fragmentos rocosos
Deslizamientos rotacionales	Grietas de tracción curvas cóncavas hacia la ladera Escarpes curvos con estrías, que puede ser verticales en la parte superior Superficies basculadas con encharcamientos Contrastes de vegetación Malas condiciones de drenaje y encharcamientos en depresiones	Pendientes entre 20-40° D/L < 0.3 a 0.1	Depósitos convexos, lobulados Desvío de cauces
Deslizamientos traslacionales en rocas o suelos	Grietas de tracción verticales paralelas al talud Escarpes verticales poco profundos Material en bloques con grietas entre ellos No encharcamientos en cabecera Drenaje desordenado o ausencia del mismo	Pendientes uniformes D/L < 0.1	Desvío de cauces En ocasiones acumulaciones de material con forma de lóbulos
Desplazamientos laterales	Bloques desplazados y basculados en varias direcciones Pendientes suaves o muy suaves Grandes grietas separando los bloques Bloques con formas irregulares controladas por fracturas Sistemas de drenaje interrumpidos, obstrucciones en cauces, valles asimétricos	Pendientes suaves, incluso < 10°	
Flujos de barro	Nichos cóncavos poco profundos Pocas grietas Contrastes en la vegetación con las zonas estables Encharcamientos No irregularidades importantes en el drenaje	Pendientes 15-25° D/L = 0.05-0.01	Lóbulos. Morfología irregular ondulada
Flujo de tierra y derrubios	Concavidades y lóbulos en el área fuente Varios escarpes Depósitos con forma de corriente en valles Ausencia de vegetación Drenaje irregular y disturbado en la masa deslizada	Pendientes > 25° D/L muy pequeño	Lóbulos, depósitos convexos Morfología irregular

D, L = profundidad y longitud de la masa desplazada

6.4. Elaboración del mapa inventario a escala 1:50.000

El mapa debe mostrar los procesos de inestabilidad de laderas actuales o antiguos, activos o inactivos, su extensión, tipología y rasgos más característicos.

La escala del mapa será 1:50.000.

Base cartográfica

Las bases topográficas que se utilizarán serán las oficiales del Instituto Geográfico Nacional. Las bases 1:50.000 se elaborarán mediante la reducción de escala de la cartografía 1:25.000 del IGN, trabajo que el IGME ha desarrollado y normalizado recientemente con la finalización del Proyecto BADAFI, que forma parte del Plan GEODE.

En 2004 se inició el Plan GEODE que constituye el soporte institucional para la generación del mapa geológico continuo de todo el territorio español a escala 50.000 en base al establecimiento de continuidad de las hojas geológicas de la serie MAGNA. Paralelamente se inició también el proyecto BADAFI que constituye el soporte informático del plan, al igual que (SIRGE será para PRIGEO). El primer producto ya generado por el proyecto BADAFI ha sido una "Cartografía Geográfica de Referencia" que sirva como base homogénea a los diferentes proyectos regionales. Esta cartografía se ha confeccionado a partir del Mapa Topográfico Nacional escala 1:25:000 (MTN 25.000) del Instituto Geográfico Nacional. En el caso particular del archipiélago canario, se realizó a partir de la cartografía 1:25.000 realizada por la compañía GRAFCAN. El formato digital de la información es "shape" de la firma ESRI y la información se integrará en una base de datos georeferenciada dentro del SIG del IGME.

Con objeto de mantener la homogeneidad en las bases cartográficas digitales utilizadas en los diferentes proyectos del IGME a escala 1:50.000 la base utilizada en los mapas de movimientos de ladera será la generada en el proyecto BADAFI, con una salvedad: el color marrón elegido para la representación de elementos topográficos como curvas de nivel, puntos acotados y toponimia relacionada será sustituido por un color gris que será definido definitivamente en el proyecto SIRGE.

Las bases incluirán al menos la topografía (curvas de nivel, puntos acotados), hidrografía (cauces), vías de comunicación principales, toponimia más relevante y poblaciones. Todos estos elementos se incluyen en las cartografías resultantes del Proyecto Badafi.

Elementos a representar (contenido del mapa)

En el mapa inventario se representarán de forma destacada los procesos de inestabilidad

de ladera actuales o antiguos, depósitos y formas asociadas, su extensión y tipología.

La información contenida en el mapa debe ser obtenida de una forma rigurosa, a partir de información, documentación y mapas existentes y a partir de observaciones, verificaciones y datos de campo, siempre en función de la escala de trabajo.

En el mapa se representarán de forma diferenciada los siguientes tipos de **procesos**:

- Deslizamientos rotacionales y traslacionales
- Caídas y desprendimientos de bloques de roca o suelos
- Flujos y coladas de barro y de derrubios, reptaciones y solifluxiones
- Avalanchas de rocas y de derrubios.

Siempre que sea posible, los procesos se clasificarán según su tipología y se representarán individualmente según los tipos:

- Deslizamiento rocoso
- Deslizamiento de suelos o materiales blandos
- Desprendimientos rocosos
- Flujo o colada de barro
- Flujo o colada de derrubios y bloques
- Reptación
- Soliflucción
- Avalancha de rocas
- Avalancha de derrubios.

Si la extensión de los movimientos no es representable a la escala del mapa, podrán marcarse puntualmente, y en caso de aparecer varios de ellos podrán agruparse y se representarán las zonas afectadas:

- Zona afectada por deslizamientos generalizados
- Zona afectada por desprendimientos/caídas de bloques
- Zona con caída generalizada de cantos o bloques de pequeño tamaño
- Zona afectada por flujos o coladas de barro
- Zona afectada por flujos o coladas de derrubios y bloques
- Zona afectada por procesos de reptación
- Zona afectada por procesos de soliflucción
- Zona afectada por avalanchas de rocas
- Zona afectada por avalanchas de derrubios

Se representarán también en el mapa los rasgos y elementos asociados a los procesos de

inestabilidad si su magnitud/extensión lo permite:

- Escarpes y cicatrices de cabecera o laterales
- Depósitos de deslizamiento, desprendimientos o coladas
- Grietas en cabecera, laterales o sobre las masas deslizadas.

Si existe la siguiente información previa de la zona, y ésta es representable a la escala del trabajo, podrá incluirse en el mapa, bien como información básica o complementaria:

- Grupos litológicos
- Pendientes
- Estructuras geológicas destacables
- Rasgos morfológicos destacables
- Red de drenaje principal
- Datos sobre niveles freáticos, manantiales, etc.
- Zonas de erosión intensa

En el mapa deberían incluirse al menos datos referentes a:

- Pendientes y relieve.
- Formas y depósitos relacionados con los procesos que constituyen peligros geológicos.

La **información geomorfológica** incluirá aquellos depósitos y formas que resultan de interés por su relación con los movimientos de ladera. No se incluirán los elementos o formas no asociados a estos procesos. Hay que considerar que gran parte de la información recogida en los mapas será información geomorfológica, que quedará englobada dentro de los procesos representados en el mapa. Por tanto se recogen únicamente aquellos aspectos de la geomorfología que no constituyen procesos en sí mismos, pero que están relacionados con la ocurrencia o presencia de éstos.

La información geomorfológica se obtendrá, en cuanto a los depósitos y a las formas, de mapas ya existente a escalas adecuadas, de documentación bibliográfica existente y del análisis de fotografías aéreas.

Se representará la siguiente información:

- Depósitos y formas de ladera
- Depósitos y formas glaciares
- Formas kársticas

Las **pendientes** se estimarán en base a las diferencias de cotas en las distintas zonas del mapa, siempre que se mantengan uniformes las curvas de nivel, con equidistancias más o menos constantes, en los tramos a estimar. De cualquier forma se deberá tener en cuenta la escala de trabajo, y representar las tendencias generales y los valores más representativos a escala regional.

Métodos de representación

La información incluida en los mapas podrá ser de carácter zonal, lineal, puntual y alfanumérica, reflejada mediante tramas o colores, símbolos, números y/o letras.

El mapa irá acompañado por una leyenda explicativa con la correspondiente simbología, y deberá ser un documento autoexplicativo, sin necesidad de recurrir a memorias o anexos para su interpretación.

La leyenda deberá incluir todos y cada uno de los aspectos reflejados en el mapa:

- Tipos de procesos
- Datos sobre procesos singulares o destacables, si los hubiera; por ejemplo edad de los movimientos, volumen del material desplazado, causas, etc.
- Rasgos y elementos asociados a los procesos
- Información general: topográfica, toponímica ...
- Otros datos de interés, si se considera necesario: litologías, pendientes, estructuras geológicas destacables, geomorfología, red de drenaje (cauces permanentes y estacionales), niveles freáticos, manantiales, etc.
- Escala del mapa
- Fuente de la base o bases (topográfica, hidrogeológica, geológica, etc.) utilizadas en el mapa.

El mapa deberá ser claro y fácilmente interpretable. Los procesos y/o las zonas afectadas por varios de ellos se cartografiarán a escala siempre que sus dimensiones lo permitan con respecto a la escala del mapa.

Los **movimientos o procesos actuales o antiguos** se representarán mediante delimitación del área afectada o con símbolos puntuales, dependiendo de su extensión, y se indicará su tipología (según los tipos y símbolos descritos más abajo).

Por tanto, cada movimiento será representado por un punto o un recinto en función de su tamaño con respecto a la escala del mapa. El centroide del movimiento será definido mediante coordenadas en la base de datos y éstas serán utilizadas para la representación puntual.

Los límites de los recintos serán los límites del movimiento en su conjunto, incluyendo el área fuente o escarpe de cabecera y la zona de alcance o el borde del pie en desprendimientos y deslizamientos respectivamente.

En el cuadro siguiente se muestran las dimensiones mínimas recomendadas que deberán tener los procesos particulares y/o las zonas afectadas para su cartografía; por ejemplo, a escala 1:50.000, quedarán representados en el mapa todos aquellos procesos individuales y todas aquellas zonas afectadas por procesos cuando cualquiera de sus dimensiones sea superior o igual a 200 metros. Para los procesos o zonas de menor tamaño se emplearán puntos u otros símbolos puntuales. En caso de realizar el mapa o parte del mismo a escala 1:25.000 (por intensidad o importancia de los procesos presentes en la zona) esta dimensión será de 40 m.

Escala del mapa	Representación areal o zonal	Representación puntual
1:50.000	Al menos una de las dimensiones ≥ 200 m	Ninguna dimensión ≥ 200 m
1:25.000	Al menos una de las dimensiones ≥ 40 m	Ninguna dimensión ≥ 40 m

Simbología:

- Puntual: se utilizará para representar aquellos movimientos que por sus dimensiones areales no sean cartografiables a la escala del mapa.
- Areal: se utilizará para representar aquellos movimientos que por sus dimensiones areales sean cartografiables a la escala del mapa inventario.
- Lineal: se utilizará para definir los escarpes, grietas o áreas fuente y el grado de certeza en la interpretación de la existencia y límites de los mismos (estilos continuo o discontinuo).
- Anotaciones: se utilizarán para definir características como el tipo de material, la velocidad, la profundidad del movimiento, etc.

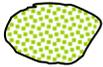
En los cuadros siguientes se muestra un ejemplo de simbología y descripciones que pueden emplearse en el mapa inventario y en su leyenda. En cada mapa únicamente se incluirán aquellos casos presentes en el área de trabajo.

<u>TIPOS DE PROCESO</u>	
	Deslizamiento rocoso
	Deslizamiento de suelos o materiales blandos
	Zona afectada por deslizamientos generalizados
	Desprendimientos rocosos
	Zona afectada por desprendimientos y/o caídas de bloques
	Zona con caída generalizada de cantos o bloques de pequeño tamaño
	Flujo o colada de barro
	Zona afectada por flujos o coladas de barro
	Flujo o colada de derrubios y bloques
	Zona afectada por flujos o coladas de derrubios y/o bloques
	Reptación
	Zona afectada por procesos de reptación
	Soliflucción
	Zona afectada por procesos de soliflucción
	Avalancha de rocas
	Zona afectada por avalanchas de rocas
	Avalancha de derrubios
	Zona afectada por avalanchas de derrubios

Si los procesos individuales no son suficientemente extensos para ser representados en el mapa, éstos se indicarán de forma puntual. Por ejemplo, para los deslizamientos en suelos o en materiales blandos, las posibles opciones de representación serían:

	Deslizamiento particular con extensión suficiente para ser representado a escala en el mapa (ver cuadro con dimensiones mínimas de representación)
	Deslizamiento particular que no presenta extensión suficiente para ser representado a escala en el mapa
	Zona afectada por varios deslizamientos que individualmente no presentan extensión suficiente para ser representados a escala en el mapa

Si se tiene información sobre la actividad/inactividad de los procesos ésta puede indicarse mediante su línea de contorno:

<u>REPRESENTACIÓN</u>	<u>ACTIVIDAD</u>
  	Procesos activos
  	Procesos inactivos
  	Procesos antiguos (fósiles)

Se deja a criterio de los autores de los mapas la representación con simbología especial de procesos o fenómenos especialmente destacables en función de su importancia y repercusión sobre actuaciones o construcciones humanas, vías de comunicación, cauces fluviales, etc.

Otros elementos que debería reflejar el mapa, si su escala lo permite, son los escarpes y grietas de las zonas de rotura de los movimientos tipo deslizamiento o flujo y los escarpes o acantilados fuente de desprendimientos.

<u>ELEMENTOS O RASGOS MORFOLÓGICOS</u>	
	Escarpes y cicatrices de cabecera
	Escarpes laterales
	Depósitos deslizados *
	Zona de acumulación de bloques desprendidos/caídos *
	Grietas en el terreno

* En los casos en que éstos aparezcan fuera del área delimitada para los procesos inventariados

OTROS POSIBLES DATOS A REPRESENTAR

Grupos litológicos

Pendientes

Estructuras geológicas destacables

Rasgos geomorfológicos destacables

Red de drenaje

Profundidad del nivel freático

Manantiales

Etc.

Los grupos litológicos podrán representarse por tramas, y las pendientes por colores según intervalos. El resto de los elementos se representarán en el mapa según la simbología habitual. En cualquier caso, las especificaciones detalladas de la simbología (grosos de línea, colores, símbolos, etc..) para su correcta implementación en el sistema de información geográfica será definida en el proyecto SIRGE en base a las indicaciones de esta guía.

7. METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRITORIO A LOS MOVIMIENTOS DE LADERA

7.1. Introducción

A continuación se desarrolla la metodología para evaluar y cartografiar la susceptibilidad del territorio a los movimientos de ladera naturales.

El objetivo final es la preparación de un mapa que represente la susceptibilidad o peligrosidad espacial frente a la ocurrencia de procesos de inestabilidad de laderas naturales, y la zonificación del territorio por su grado de susceptibilidad. La metodología consta de las siguientes fases sucesivas:

- Evaluación y zonificación de la susceptibilidad
- Elaboración del mapa de susceptibilidad
 - Escala del mapa
 - Elementos a representar (contenido del mapa)
 - Métodos de representación.

Los trabajos que se describen en los apartados siguientes deben considerarse como los mínimos a desarrollar para la realización del mapa. Se incluyen las líneas básicas de la metodología a seguir para la preparación de los mapas. En el Capítulo 5 del Documento 1 “Directrices técnicas para la realización de inventarios y zonificación de la susceptibilidad y peligrosidad por movimientos de ladera en el Plan Prigeo” se incluyen descripciones y especificaciones para el desarrollo de las diferentes fases que aquí se presentan, así como las indicaciones necesarias para llevar a cabo cada una de las actividades encaminadas a la realización de las cartografías.

7.2. Evaluación y zonificación de la susceptibilidad

Esta fase del estudio se realizará siempre que:

- Las características, extensión, frecuencia, etc. de los movimientos de ladera observados en la zona, y representados en el mapa inventario, hagan prever que puedan ocurrir nuevos procesos en el futuro.
- Aún no habiendo observado deslizamientos en la zona, existan factores naturales “proclives” que hagan pensar que puede haberlos en el futuro, por causas naturales o inducidas por el hombre.

Entre las actuaciones antrópicas que pueden desencadenar deslizamientos naturales están principalmente las excavaciones y aquellas actuaciones que modifiquen la red de drenaje, el flujo del agua o el contenido en humedad de los materiales. Estas actuaciones pueden causar deslizamientos, flujos o desprendimientos por erosión y descalce en laderas o escarpes, debido a las modificaciones en las condiciones de resistencia de los materiales, etc.

En el segundo punto de los citados arriba, entre los factores naturales “proclives” a tener en cuenta están:

- laderas con pendiente media o alta
- materiales blandos y arcillosos o macizos rocosos alterados y fracturados
- presencia de agua en la zona (manantiales, zonas encharcadas...)
- buzamientos elevados de estratos a favor de la pendiente
- etc.

La descripción de estos aspectos se realizará mediante **reconocimientos geológicos de campo** y, en su caso, información previa disponible (mapas, informes, estudios...).

Tras esta evaluación preliminar del territorio se decidirá si es necesario realizar el mapa de susceptibilidad.

Evaluación de la susceptibilidad

La **evaluación de la susceptibilidad** se realiza a partir de:

- La información del mapa inventario con los movimientos actuales y antiguos y sus características.
- El análisis de los factores que condicionan e influyen en la generación de los movimientos de ladera.

En el primer caso la metodología consiste en dividir el territorio en diferentes zonas en función del porcentaje de área ocupada por los deslizamientos inventariados, pudiendo también tener en cuenta su tipología, magnitud, etc. según el alcance del estudio. Para los deslizamientos superficiales pequeños se puede determinar también el número de deslizamientos por kilómetro cuadrado.

En este contexto, otras definiciones que pueden ser consideradas son:

- el porcentaje del área total afectada por movimientos de ladera.

- el porcentaje de los eventos totales ocurridos dentro de un área determinada.

En el segundo caso, la metodología se basa en la realización de mapas temáticos de los diferentes factores condicionantes y en la superposición de los mismos, estableciéndose el grado de susceptibilidad en función del peso asignado a cada uno de los factores según su influencia en la generación de los deslizamientos. Estos mapas se suelen preparar con técnicas SIG (sistemas de información geográfica), que permiten el análisis automático de los datos y el establecimiento de bases de datos asociadas. Irigaray y Chacón (2003) recogen los diferentes métodos de análisis que pueden aplicarse.

Ambos procedimientos son complementarios y los resultados obtenidos en el segundo deben ser verificados con los datos del inventario.

El **estudio de los factores** puede detallarse tanto como se requiera, considerando sobre todo los que más influencia ejercen en la ocurrencia de los movimientos, como la pendiente de las laderas, la litología y estructura geológica, las propiedades físicas y resistentes de los materiales, sus condiciones hidrogeológicas, la influencia de las condiciones climáticas, etc. Estos factores se pueden agrupar en:

- Factores intrínsecos a los materiales, como son su litología, estructura, propiedades físicas y geomecánicas, propiedades hidrogeológicas, etc.
- Factores externos que actúan sobre el material dando lugar a modificaciones en las condiciones iniciales de las laderas, como cambios en las condiciones hidrogeológicas, factores meteorológicos, variaciones en la geometría de la ladera, la aplicación de cargas dinámicas (movimientos sísmicos naturales o inducidos), etc.

El factor más importante es la propia morfología del terreno, aunque no necesariamente ésta ha de ser abrupta o accidentada. El Cuadro 4 recoge los diferentes factores condicionantes de la estabilidad de las laderas.

El segundo grupo de factores, generalmente, desencadenan las inestabilidades por las variaciones a que dan lugar en el estado de equilibrio de las laderas y son responsables, en gran medida, de la magnitud de los movimientos, mientras que el primer grupo de factores configura las diferentes tipologías y mecanismos de rotura.

Dentro de los factores desencadenantes deben ser considerados de manera destacable las actuaciones humanas: la construcción de edificios sobre las laderas, las excavaciones, la construcción de presas y embalses, las voladuras en zonas cercanas, entre otras actuaciones, provocan la variación de las condiciones de estabilidad de las laderas.

En diversas publicaciones puede encontrarse información sobre la influencia de los diferentes

factores en la ocurrencia de deslizamientos y desprendimientos en laderas: Varnes (1984), Hutchinson (1988) y Ayala y Ferrer (1989).

Cuadro 4. Factores que condicionan los movimientos de ladera y su influencia en las condiciones de los materiales y de las laderas

	Factores	Influencias y efectos
Condicionantes	Relieve (pendientes)	Distribución del peso del terreno
	Litología (composición)	Densidad, resistencia Comportamiento hidrogeológico
	Estratigrafía	Comportamiento discontinuo y heterogéneo
	Estructura geológica y estado tensional	Resistencia, deformabilidad Comportamiento discontinuo y anisótropo Zonas de debilidad
	Propiedades geomecánicas de los materiales	Resistencia, deformabilidad
	Propiedades hidrogeológicas del terreno	Comportamiento hidrogeológico Generación de presiones intersticiales
	Deforestación	Modificaciones en el balance hídrico Erosión
	Meteorización	Cambios físicos y químicos, erosión externa e interna, generación de zonas de debilidad
Desencadenantes	Precipitaciones y aporte de agua	Variación de las presiones intersticiales y del peso del terreno
	Cambio en las condiciones hidrogeológicas	Saturación en suelos Erosión
	Aplicación de cargas estáticas o dinámicas	Cambio en la distribución del peso de los materiales y en el estado tensional de la ladera Incremento de presiones intersticiales
	Cambio morfológicos y de la geometría de las laderas	Variación de las fuerzas debidas al peso Cambio en el estado tensional
	Erosión o socavación del pie	Cambios geométricos Cambios en la distribución del peso de los materiales y en el estado tensional de la ladera
	Acciones climáticas (procesos de deshielo, heladas, sequías)	Cambio en el contenido de agua Generación de grietas y planos de debilidad Disminución de las propiedades resistentes

La información sobre los diferentes factores presentes en una zona determinada debe ser obtenida de forma rigurosa, cuantificándola siempre que sea posible, y a partir de observaciones y medidas directas o de mapas existentes, siempre en función de la escala de trabajo.

Deberán ser obtenidos, como mínimo, los datos referentes a:

- Pendientes.
- Litologías (o grupos litológicos) y estructuras dominantes.
- Hidrogeología, red de drenaje, surgencias, niveles freáticos

que se representarán en mapas diferentes (en capas diferentes de información en caso de trabajar con técnicas SIG).

El **mapa de pendientes** se realizará por rangos de pendientes, al menos 3; por ejemplo:

- pendientes bajas $<10^\circ$
- pendientes medias $10^\circ-30^\circ$
- pendientes altas $>30^\circ$.

Si la variedad del relieve así lo requiere, se pueden establecer mas rangos, por ejemplo:

- zonas llanas: $<3^\circ$
- zonas suaves: $3^\circ-7^\circ$
- relieve alomado: $7^\circ-15^\circ$
- relieve acusado: $15^\circ-30^\circ$
- zonas abruptas: $>30^\circ$.

Las pendientes se pueden representar delimitando en el mapa las zonas con diferente grado de pendiente mediante líneas. Cada zona puede tener un color o ninguno, en cuyo caso irá identificada por una letra o número dibujado en el interior del recinto.

Para el **mapa litológico**, las litologías agruparse según su comportamiento mecánico u otras características relacionadas, incluyendo las formaciones rocosas y las superficiales, por ejemplo:

- Rocas duras masivas
- Rocas duras fracturadas
- rocas blandas o meteorizadas
- Alternancia de rocas duras y blandas
- Suelos duros
- Suelos blandos
- etc.

Otros ejemplos de posibles clasificaciones son:

- Rocas sedimentarias
- Rocas metamórficas

- Rocas plutónicas
- Suelos arcillosos
- Suelos arenosos
- etc.

Si las formaciones superficiales son abundantes en la zona de estudio, su clasificación puede detallarse:

- Suelos residuales (eluviales)
- Coluviales
- Canchales y depósitos de bloques
- Morrenas
- Conos de deyección y abanicos aluviales
- Glacis y terrazas
- Aluviales y fondos de valle

Si la geología no es muy compleja en la zona de estudio, los diferentes tipos de rocas y suelos podrán clasificarse directamente por sus litologías.

Los mapas podrán contener tantas clases como se considere necesario según las características de la zona y los procesos presentes. Así, en un territorio donde predominan los materiales tipo suelo, las clasificaciones litológicas se enfocarán a describir los tipos de suelos: granulares, arenosos, arcillosos, expansivos, etc.

Además, si están disponibles otros datos o se consideran necesarios, deberá obtenerse información sobre:

- Las propiedades geomecánicas de los materiales, aunque sea información cualitativa.
- Presencia de materiales alterados o meteorizados y de formaciones superficiales.

En el mapa litológico deberán representarse también las principales **estructuras geológicas**, como las fallas, ejes estructurales o pliegues.

Las **características hidrogeológicas** se describirán en términos que se refieran a la presencia de agua en la zona y en los materiales; por ejemplo:

- profundidad del nivel freático
- materiales permeables o impermeables.

El mapa de factores hidrogeológicos puede incluir además la siguiente información:

- ríos permanentes y estacionales
- límites de los cauces (sólo para grandes ríos)
- llanura de inundación
- lagos y lagunas
- zonas húmedas o pantanosas (marismas, turberas)
- surgencias o manantiales
- sumideros
- canal artificial.

Si están disponibles **otros datos** o se consideran necesarios, deberá obtenerse información sobre los tipos de vegetación, los procesos dinámicos actuantes (erosivos, tectónicos), u otros.

Esta información debería ser igualmente reflejada en los mapas de factores y en sus leyendas.

Clasificación del territorio

Una vez reconocidos los principales factores determinantes de la estabilidad de las laderas de la zona de estudio y realizados los mapas correspondientes (considerando, al menos, los mapas de los tres factores principales descritos arriba: pendientes, litologías y presencia de agua) en los que se han delimitado las diferentes clases para cada factor:

1. Se estimará la importancia relativa de cada uno de los factores en los procesos de inestabilidad según las observaciones de campo y la información del mapa inventario.
2. Se asignarán pesos a cada una de las clases en las que se ha clasificado cada factor, mediante una ponderación relativa según su influencia e importancia en los procesos de inestabilidad.
3. Mediante la superposición de los mapas obtenidos y la suma de los pesos asignados se clasificará el territorio en zonas con diferentes niveles o grados de susceptibilidad, entre 3 y 5 niveles, que se ordenarán y a los que se asignarán diferentes características. La clasificación puede ser cualitativa o cuantitativa, relativa o absoluta. Por ejemplo:
 - Susceptibilidad baja: Zonas con pendientes bajas, litologías resistentes, macizos rocosos competentes no alterados, con nivel freático profundo, etc.
 - Susceptibilidad media: Zonas con pendientes medias, litologías con resistencia media, suelos duros, macizos rocosos fracturados, alterados, con nivel freático a poca profundidad, etc.
 - Susceptibilidad alta: Zonas con pendientes altas, litologías blandas, suelos, macizos rocosos alterados, fracturados, nivel freático superficial, etc.

Las zonas en las que se ha clasificado el territorio deben ser comparadas con los datos del mapa inventario de deslizamientos, pudiendo emplear igualmente técnicas de superposición, de tal forma que deberían coincidir las zonas con un mayor porcentaje de deslizamientos con las zonas con presencia de factores más susceptibles, sirviendo esta técnica para la verificación de la bondad y representatividad de la evaluación de la susceptibilidad.

No obstante, puede ocurrir que en algunas zonas no haya concordancia entre los mapas inventario y de susceptibilidad:

- En una zona clasificada como susceptible no se han observado movimientos en el campo.
- Una zona con deslizamientos inventariados no presenta un grado de susceptibilidad elevado.

Estos casos se deben valorar y considerar, estimando si es posible que las señales dejadas por los movimientos hayan desaparecido, o si han podido ocurrir movimientos en el pasado pero actualmente las condiciones de las laderas han variado. Por lo general estos casos pueden darse para deslizamientos superficiales o tipo flujo.

En función de los resultados al comparar con el mapa inventario se ajustarán y delimitarán las zonas de diferente grado de susceptibilidad establecidas, que se podrán caracterizar también indicando los tipos de procesos que son esperables en cada una de ellas, y se asignarán definitivamente los niveles de susceptibilidad.

En resumen, el nivel de susceptibilidad se establecerá según:

- Porcentaje de la zona considerada afectada por movimientos de ladera.
- Si los procesos son actuales o antiguos.
- Presencia de factores que condicionan los procesos: litologías predominantes, pendiente, presencia de agua, entre otros.

El mapa de susceptibilidad deberá indicar los diferentes tipos de movimientos de ladera (deslizamientos, desprendimientos, flujos, etc.), esperables en cada zona, reflejando los factores que condicionan cada uno de los tipos.

En el Cuadro 5 se incluyen algunas clasificaciones que pueden servir de ayuda para establecer las zonas de susceptibilidad en base a los factores presentes.

Como se ha indicado, para establecer definitivamente los grados de susceptibilidad del territorio debe tenerse en cuenta el tipo de movimiento. Por ejemplo, una zona en la que

afloran rocas tendrá una susceptibilidad nula a los flujos de tierra y derrubios, independientemente de las condiciones de pendiente e hidrogeológicas, aunque sí podrá ser susceptible a los desprendimientos si las rocas están fracturadas y presenta escarpes o pendientes elevadas.

A continuación se muestra un ejemplo indicativo de la información que puede considerarse para establecer los diferentes grados de susceptibilidad:

- Susceptibilidad Nula: Zonas estables. Ausencia de inestabilidades actuales o antiguas y ausencia de factores que condicionan los procesos.
- Baja: Zonas con inestabilidades poco importantes o de carácter esporádico. Alguno de los factores que condicionan los procesos puede estar presentes.
- Media: Zonas con problemas de inestabilidad de relativa importancia por su frecuencia, intensidad o extensión. Algunos de los factores que condicionan los procesos están presentes.
- Alta: Zonas con problemas de inestabilidad importantes por su frecuencia, intensidad o extensión y/o con abundantes zonas inestables. Más del 30% del territorio ocupado por movimientos activos. Algunos de los factores que condicionan los procesos están presentes.
- Muy alta: Zonas inestables. Más del 50% del territorio ocupado por movimientos activos. Todos los factores que condicionan los procesos están presentes: pendientes elevadas, agua, litologías desfavorables...

Dependiendo de la complejidad, se podrá establecer la división en menos niveles, con al menos un mínimo de tres: susceptibilidad baja, media y alta.

Cuadro 5. Incidencia de los diferentes factores condicionantes en la generación de movimientos de ladera

Factores y clasificación		Deslizamientos	Desprendimientos	Flujos	Avalanchas rocosas o de derrubios
Pendiente	< 10°	1		2	
	10° - 30°	2	1	3	1
	> 30°	3	3	3	3
Litologías	Rocas masivas				
	Rocas blandas	3	2		2
	Suelos duros	1	2		
	Suelos blandos	3		3	
	Derrubios			2	3
Estructura	Buzamientos elevados	3	2		3
	Rocas fracturadas		3		3
Posición del nivel freático	Superficial	3		3	
	Medio	2		1-2	
	Profundo	1		1	
3 = Incidencia alta 2 = Incidencia media 1 = Incidencia baja					

Nota: las clasificaciones mostradas en el cuadro son ejemplos que deberán ser adecuados a las características y condiciones de la zona de estudio.

7.3. Elaboración del mapa de susceptibilidad

El mapa debe mostrar el grado de susceptibilidad del territorio a los diferentes tipos de movimientos de ladera, esto es, la mayor o menor posibilidad de que en un futuro ocurran inestabilidades en las laderas de la zona de estudio.

La escala del mapa será 1:50.000.

Base cartográfica

Las bases topográficas que se utilizarán serán las oficiales del Instituto Geográfico Nacional. Las bases 1:50.000 se elaborarán mediante la reducción de escala de la cartografía 1:25.000 del IGN, trabajo que el IGME ha desarrollado y normalizado recientemente con la finalización del Proyecto BADAFI, que forma parte del Plan GEODE.

En 2004 se inició el Plan GEODE que constituye el soporte institucional para la generación del mapa geológico continuo de todo el territorio español a escala 50.000 en base al establecimiento de continuidad de las hojas geológicas de la serie MAGNA. Paralelamente se inició también el proyecto BADAFI que constituye el soporte informático del plan, al igual que (SIRGE será para PRIGEO). El primer producto ya generado por el proyecto BADAFI ha sido una "Cartografía Geográfica de Referencia" que sirva como base homogénea a los diferentes proyectos regionales. Esta cartografía se ha confeccionado a partir del Mapa Topográfico Nacional escala 1:25:000 (MTN 25.000) del Instituto Geográfico Nacional. En el caso particular del archipiélago canario, se realizó a partir de la cartografía 1:25.000 realizada por la compañía GRAFCAN. El formato digital de la información es "shape" de la firma ESRI y la información se integrará en una base de datos georeferenciada dentro del SIG del IGME.

Con objeto de mantener la homogeneidad en las bases cartográficas digitales utilizadas en los diferentes proyectos del IGME a escala 1:50.000 la base utilizada en los mapas de movimientos de ladera será la generada en el proyecto BADAFI, con una salvedad: el color marrón elegido para la representación de elementos topográficos como curvas de nivel, puntos acotados y toponimia relacionada será sustituido por un color gris que será definido definitivamente en el proyecto SIRGE.

Las bases incluirán al menos la topografía (curvas de nivel, puntos acotados), hidrografía (cauces), vías de comunicación principales, toponimia más relevante y poblaciones. Todos estos elementos se incluyen en las cartografías resultantes del Proyecto Badafi.

Elementos a representar (contenido del mapa)

En el mapa de susceptibilidad se representarán las zonas con distinto grado o nivel de susceptibilidad del territorio a los diferentes tipos de movimientos de ladera, además del inventario de los procesos en la zona. En casos de zonas con gran intensidad de procesos, o zonas complejas, ambos mapas, inventario y de susceptibilidad, pueden presentarse por separado.

La información contenida en el mapa debe ser obtenida de una forma rigurosa, a partir de información, documentación y mapas existentes y a partir de observaciones, verificaciones y datos de campo, siempre en función de la escala de trabajo.

El mapa tendrá la misma base topográfica e información toponímica y de otro tipo que el mapa inventario (grupos litológicos o litologías, estructuras geológicas y rasgos geomorfológicos destacables, pendientes, red de drenaje, niveles freáticos, manantiales, pozos, etc.). Los datos referentes a la red de drenaje deberían incluirse en cualquier caso por su importancia en la ocurrencia de movimientos de ladera: cursos de agua, niveles freáticos, manantiales, pozos, etc.

Las zonas con diferente grado de **susceptibilidad** deberán caracterizarse por:

- Grado o nivel de susceptibilidad: establecido según el procedimiento descrito a partir del estudio de los factores y de la extensión y tipo de los procesos inventariados.
- Tipo/s de movimientos potenciales: en función de los movimientos actuales inventariados y de las características de los factores.
- Características de los principales factores determinantes: pendientes, litologías e hidrogeología, como mínimo.

Deberán reflejarse también en el mapa de forma destacada los puntos críticos y elementos especialmente sensibles o significativos en las zonas de elevada susceptibilidad, tales como vías de comunicación, infraestructuras importantes y poblaciones.

Además de la **información explicativa**, en la leyenda se incluirá **información interpretativa**, indicando, en su caso:

- Los usos para los que el territorio es incompatible.
- Las zonas en las que es necesario hacer un análisis más detallado, por la extensión o

complejidad de los procesos que la afectan o pueden afectar, especificando el tipo de análisis a llevar a cabo y la forma en que debe hacerse.

Métodos de representación

La información incluida en el mapa podrá ser de carácter zonal, lineal, puntual y alfanumérica, reflejada mediante tramas o colores, símbolos, números y/o letras.

El mapa de susceptibilidad podrá ser un documento independiente o incorporar la información al mapa inventario, en cuyo caso se realizaría un único mapa: inventario y de susceptibilidad. Esto dependerá de la intensidad de procesos en la zona, de la complejidad y diversidad de los factores presentes, etc.

Las áreas con diferente grado de susceptibilidad serán representadas mediante recintos cerrados y coloreados. Se indicarán preferiblemente mediante colores y/o tramas las zonas con diferente grado de susceptibilidad a los movimientos de ladera, indicando claramente, si es posible de forma cuantitativa o semicuantitativa, las características y significado de cada zona, así como el tipo de movimientos potenciales.

La **leyenda** deberá incluir al menos la descripción del grado de susceptibilidad, y pueden incluirse también las descripciones de los diferentes factores. A continuación se presentan algunos ejemplos con finalidad ilustrativa:

<u>SUSCEPTIBILIDAD</u>		<u>FACTORES CONDICIONANTES</u>			
		Pendientes	Litologías predominantes	Hidrogeología	Etc.
	Nula	0° - 5°	.....	.....	.....
	Muy baja		.....	.....	.....
	Baja	5° - 10°	.....	.....	.....
	Media	10° - 15°	.....	.....	.....
	Alta	15° - 30°	.....	.....	.....
	Muy Alta	> 30°	.....	.....	.....

Nota: Se establecerán un mínimo de 3 grados o niveles de susceptibilidad

TIPO DE MOVIMIENTO

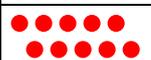
	Zona susceptible a deslizamientos
	Zona susceptible a caídas y desprendimientos de rocas
	Zona susceptible a flujos o coladas de barro y derrubios
	Zona susceptible a procesos superficiales de reptación y soliflución
	Zona susceptible a avalanchas de rocas y de derrubios
	Etc.

Nota: Se incluirán solo los tipos de movimientos que puedan darse en la zona

Así, mediante la combinación de tramas y colores puede establecerse la relación entre el grado de susceptibilidad y el tipo de movimiento.

En las leyendas se podrán indicar algunas condiciones necesarias para los procesos, por ejemplo:

SUSCEPTIBILIDAD

	Susceptibilidad alta a procesos de reptación en zonas de suelos arcillosos
	Susceptibilidad alta a deslizamientos en zonas con pendientes >20° y agua en el terreno
	Susceptibilidad media a desprendimientos en zonas con macizos rocosos fracturados y alterados
	Susceptibilidad baja a deslizamientos en zonas con pendientes >20° y sin presencia de agua

Si se presentan zonas con posibilidad de varios tipos de procesos conjuntos, debe indicarse en la leyenda; por ejemplo: zona susceptible a deslizamientos y a procesos de reptación superficial.

En casos complejos de áreas afectadas por numerosos procesos de inestabilidad de diferentes tipologías, el mapa deberá reflejar la susceptibilidad global de cada área establecida. El siguiente cuadro muestra una posible clasificación para aplicar en estos casos.

Grado de susceptibilidad de cada tipo de movimiento				Susceptibilidad integrada
Tipo de proceso 1	Tipo de proceso 2	Tipo de proceso 3	Tipo de proceso 4	
A	A	*	*	Muy Alta
A	*	*	*	Alta
M	*	*	*	Media
B	B, MB	MB, B	MB	Baja
MB	MB	MB	MB	Muy Baja

* = Susceptibilidad Muy alta, Alta, Media, Baja o Muy Baja

Por tanto el mapa integrado resultaría con cinco niveles de susceptibilidad:

- Muy alta: zonas con dos o más susceptibilidades altas
- Alta: áreas con al menos una susceptibilidad alta
- Media: áreas con al menos una susceptibilidad media,
- Baja: áreas con al menos una susceptibilidad baja
- Muy baja: áreas con las cuatro susceptibilidades muy bajas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayala y Ferrer (1989). Extent and economic significance of landslides in Spain. En: Landslides: extent and economic significance. Balkema. Rotterdam. Pp. 169-178.
- Corominas, J., 1988. Criterios para la confección de mapas de peligrosidad de movimientos de ladera. En: Riesgos Geológicos. Varios autores. IGME..
- Ferrer, M., 1987. Mapa de movimientos de ladera de España a escala 1:1.000.000. IGME.
- Ferrer, M., 1991. Mapas de peligrosidad por movimientos de ladera. I Bienal Española de Ingeniería Geológica y Minera. Tomo I. IGME. Madrid.
- Ferrer, M. y Ayala, F., 1997. Relaciones entre desencadenamiento de movimientos y condiciones meteorológicas para algunos deslizamientos de España. IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada. Vol. I, pp. 185-198.
- González de Vallejo, L. et al., 2004. Ingeniería Geológica. Prentice Hall-Pearson. Madrid.
- Hutchinson, J.N. (1988). General report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology. Proc. 5th Int. Symposium on landslides, Lausanna. Tomo 1, pp. 3-36.
- IGME, 1987. Impacto económico y social de los riesgos geológicos en España. Madrid.
- IGME, 1989 a 1992. Los peligros naturales en España. Varios autores.
- IGME, 1991. Informe sobre el deslizamiento de Benamejé, Córdoba. Inédito.
- IGME-Diputación de Granada, 2007. Atlas de Riesgos Naturales de la provincia de Granada. Riesgos por Movimientos de ladera. Varios autores.
- IGME-CDSOT, 2006. Estudio y cartografía de los peligros geológicos de la Comarca del Altiplano de la Región de Murcia.
- Irigaray, C. y Chacón, J. (2003). Métodos de análisis de la susceptibilidad de los movimientos de ladera mediante SIG. En: Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Ayala y Corominas (Eds). Varios autores. IGME. Madrid.
- Varnes, D.J. (1984). Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. Natural Hazard, 3. UNESCO.
- Wold, R.L. y Jochim, C. L. (1989). landslide loss reduction: a guide for state and local government planning. Earthquake hazard reduction series, 52. FEMA 182. USA.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- Ayala, F. y Corominas, J. (Eds) (2003). Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Varios autores. IGME. Madrid.
- Dikau, Brundsen, Schrott e Ibsen (Eds). Landslide recognition. Identification, movement and causes. Varios autores. Wiley and Sons.
- González de Vallejo, L. et al. (2004). Ingeniería Geológica. Capítulos 13 y 14. Prentice Hall-Pearson.
- JTC-1 (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes. February 2008.
- Suárez , L. and Regueiro, M. (Eds). 1997. Varios autores. Guía ciudadana de los riesgos geológicos. Capítulo: Deslizamientos y aludes. The American Institute of Professional Geologists. Versión española. Madrid. Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España.

GLOSARIO DE TÉRMINOS - MOVIMIENTOS DE LADERA

Avalanchas rocosas: desplazamiento repentino de grandes masas de rocas o derrubios (avalanchas de derrubios), en zonas montañosas y accidentadas. Los depósitos son acumulaciones caóticas de bloques, muy inestables y porosos. Se denominan también aludes rocosos.

Depósitos de deslizamiento: masas deslizadas, generalmente con forma de lóbulos, a pie de las laderas.

Derrubios: depósitos de materiales rocosos sueltos muy heterométricos y sin estructura, con disposición caótica. Suelen estar asociados a las paredes de escarpes, de los que provienen, y presentar condiciones de inestabilidad natural.

Deslizamientos: movimientos gravitacionales de masas de roca o suelo que deslizan sobre una o varias superficies de rotura netas al superarse la resistencia al corte en estos planos. El material se mueve en conjunto, comportándose como una unidad en su recorrido. Su velocidad puede ser muy variable, desde muy lenta (< 1 m/año) a muy rápida (varios metros por segundo). Se clasifican por el tipo de material que desliza (rocas, suelos o derrubios), por el mecanismo de rotura (rotacional, translacional, complejo...) y por la geometría del plano de rotura (curvo, plano, poligonal...). Los **deslizamientos rotacionales** se producen a favor de superficies de rotura curvas, superficiales o profundas, y suelen afectar a suelos o rocas muy alteradas. Los **deslizamientos translacionales** se producen a favor de superficies planas preexistentes y los bloques desplazados suelen ser poco potentes en relación a su longitud.

Desprendimientos: caídas de bloques rocosos, individualizados previamente por superficies de rotura, en laderas escarpadas y acantilados rocosos, pudiendo afectar también a paquetes de suelos cohesivos. La distancia que pueden recorrer los bloques depende de su forma, tamaño y las características del terreno a pie de los escarpes rocosos.

Flujos o coladas: movimientos superficiales de masas de suelos (flujos de barro o tierra) o derrubios (coladas de derrubios) donde el material se comporta como un fluido, sufriendo una deformación continua y sin presentar superficies de rotura netas. El material que fluye suele formar lóbulos alargados y estrechos. El agua es el principal agente desencadenante, por la pérdida de resistencia a que da lugar en materiales poco cohesivos. Las **reptaciones y solifluxiones** son movimientos muy lentos de las capas más superficiales de las laderas, afectando a suelos o material rocoso muy meteorizado.

Mapa inventario: incluye la localización espacial de los procesos y/o de las zonas afectadas, así como las características de los mismos: tipología, morfología, materiales, magnitud o intensidad... Representan de forma puntual o zonal los procesos actuales y antiguos y las áreas afectadas y, dependiendo del detalle, puede indicarse el tipo de

movimiento, la edad, el grado de actividad, etc.

Mapa de susceptibilidad: muestra la posibilidad de que una zona sea afectada por movimientos de ladera, expresada en diversos grados cualitativos y relativos. Depende de los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos, que pueden ser intrínsecos a los propios materiales o externos.

Mapa de peligrosidad: muestra la probabilidad de ocurrencia de un proceso de un nivel de intensidad determinado, dentro de un periodo de tiempo dado y dentro de un área específica. Para su realización es necesario conocer, entre otros aspectos, la frecuencia de ocurrencia de los fenómenos.

Movimientos de ladera: movimientos gravitacionales de masas de suelos o rocas que tienen lugar en las laderas, debido a los reajustes por variación de las condiciones de estabilidad a que están sometidas. Las masas se desplazan ladera abajo hasta que encuentran nuevas condiciones de equilibrio. Con frecuencia se agrupan bajo el nombre general de deslizamientos.

Peligrosidad: probabilidad de ocurrencia de un proceso de un nivel de intensidad determinado, dentro de un periodo de tiempo dado y dentro de un área específica.

Riesgo: conjunto de los daños y pérdidas sociales, ambientales y económicas, directas e indirectas, causadas por un peligro geológico.

Susceptibilidad: posibilidad de que una zona sea afectada por movimientos de ladera, expresada en diversos grados cualitativos y relativos. Depende de los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos, que pueden ser intrínsecos a los propios materiales o externos.

CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA

Tipología (Cruden y Varnes, 1996 y Corominas, 1989)

- **Desprendimiento (Fall):** movimiento muy rápido de una porción de suelo o roca, en forma de bloques aislados o masivamente que, en una gran parte de su trayectoria desciende por el aire en caída libre, volviendo a entrar en contacto con el terreno, donde se producen saltos, rebotes y rodaduras. Subtipo: **Colapso** o caída con trayectoria básicamente vertical.
En este grupo se incluirá además el **vuelco (Topple)** o movimiento de rotación hacia el exterior, de una unidad o conjunto de bloques, alrededor de un eje pivotante situado por debajo del centro de gravedad de la masa movida. Subtipos: **flexión** y **desplome**.

- **Deslizamiento (Slide):** movimiento descendente relativamente rápido de una masa de suelo o roca que tiene lugar a lo largo de una o varias superficies de rotura definidas que son visibles o que pueden ser inferidas razonablemente o bien corresponder a una franja relativamente estrecha. Se considera que la masa movilizada se desplaza como un bloque único, y según la trayectoria descrita pueden ser **rotacionales** (su superficie de rotura está formada por una curva cuyo centro de giro se sitúa por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento) o **traslacionales** (su superficie de rotura es más o menos plana o ligeramente ondulada y la masa tiene muy poco o nada de movimiento de rotación).
- **Flujo (Flow):** movimiento de una masa desorganizada o mezclada donde no todas las partículas se desplazan a la misma velocidad ni siguen la misma trayectoria paralela. La masa no conserva su forma en el movimiento descendente por lo que adopta a menudo formas lobuladas o conos de deyección. Subtipos: **Reptación, Soliflucción, Colada de tierra, Colada de barro, Corriente de derrubios, Flujos de roca, Golpes de arena y limo, Avalanchas** (ordenados de mayor a menor velocidad).
- **Expansión lateral (Spread):** movimiento con componente dominante de extrusión plástica lateral, acomodada por fracturas de cizalla o de tracción que en ocasiones pueden ser difíciles de localizar. Es un movimiento característico de depósitos de arcillas sensibles por lo que son poco comunes en España
- **Movimiento Complejo (Complex):** todo movimiento formado por dos o más tipos de movimientos simples.
- **Otros movimientos** En el caso de existir en la zona de estudio algún movimiento que por su complejidad cinemática no esté incluido en los anteriores y por su importancia requiera una representación específica, se podrá describir y simbolizar dentro este apartado.

Material: se refiere al material que constituye la ladera previamente a que se produzcan la rotura y el movimiento.

- **Roca (Rock):** una masa dura o firme que estaba intacta y en su lugar natural antes del inicio del movimiento de ladera.
- **Derrubio (Debris):** suelo que contiene una proporción significativa de material grueso; entre un 20% y un 80% de las partículas son más grandes de 2mm, y el resto es menor de 2mm
- **Tierra (Earth):** suelo compuesto por un 80% o más de partículas más pequeñas de 2mm, el límite superior de las partículas clasificadas como arena
- **Barro (Mud):** suelo compuesto por un 80% o más de partículas más pequeñas de 2mm y el contenido de la fracción fina es mayoritariamente limo y arcilla.

Estado (WP/WLI, 1993, Cruden & Varnes, 1996)

- **Activo:** Incluye los términos **activo s.s. (active)**: que se está moviendo en el momento de observación o actual y **reactivado (reactivated)**: deslizamiento activo que previamente ha sido inactivo y **en suspenso (suspended)** el que se ha movido en los últimos 12 meses - ciclos estacionales - pero no se mueve actualmente.
- **Inactivo:** Engloba los términos **inactivo s.s. (inactive)**: que lleva varios ciclos estacionales o más de 12 meses sin actividad, y **latente (dormant)**: inactivo pero puede reactivarse porque las causas que lo originaron permanecen.
- **Estabilizado (stabilised)** inactivo por adopción de medidas estabilizadoras.
- **Antiguo:** Incluye los términos **abandonado (abandoned)**: inactivo que no ha vuelto a ser afectado por las causas que lo originaron, por ejemplo río erosivo cambia de curso y **relict (relict)**: inactivo que se desarrolló en condiciones climáticas o geomorfológicas diferentes a las actuales, posiblemente hace varios miles de años.

Certeza: grado de fiabilidad en la observación e interpretación de la existencia y definición de límites de los movimientos de ladera inventariados.

- **Cierto:** movimiento ciertamente observado.
- **Probable:** movimiento cuya existencia ha sido interpretada de forma indirecta a partir de rasgos topográficos, geomorfológicos, etc. que se estiman muy claros y fiables.
- **Dudoso:** movimiento o límite cuya existencia ha sido interpretada de forma indirecta a partir de rasgos topográficos, geomorfológicos, etc. que no se estiman claros y ni fiables.

Velocidad (Cruden & Varnes, 1996)

- **Muy rápido** movimiento cuya velocidad es superior a 50 mm por segundo.
- **Lento a rápido** movimiento cuya velocidad está comprendida entre 50 mm por segundo y 1,6 m al año.
- **Muy lento** movimiento cuya velocidad es inferior a 1,6 m al año.

Profundidad

- **Superficial:** movimiento que afecta a los 5 metros de material de la ladera más próximos a la superficie.
- **Profundo:** movimiento que afecta a un espesor de material superior a 5 metros.