

JUVENAL MEDINA R.

FENOMENOS *GEODINAMICOS*

Estudio y medidas de tratamiento



Tecnología Intermedia (ITDG), fue fundada en 1965 por el Dr. E. F. Schumacher. ITDG es una organización no-gubernamental que se dedica a investigar, desarrollar, evaluar y difundir alternativas tecnológicas para el desarrollo.

UK ISBN 1 85339 026 7

© Tecnología Intermedia ITDG, 1991

Jorge Chávez 275, Lima 18, Perú

Teléfono 466621

Autor: Juvenal Medina Rengifo.

Diseño y coordinación: Ricardo Carrera S.

Diagramación Ventura Publisher: Rosa Vilchez

Ilustraciones: Alex Concha

Lima, marzo 1991

Impreso en el Perú

INDICE

AGRADECIMIENTOS	9
PRESENTACION	11
INTRODUCCION	13
I. GEODINAMICA Y PROCESOS GEODINAMICOS	15
II. FENOMENOS DE GEODINAMICA EXTERNA	17
2.1 Agentes geodinámicos	17
2.1.1 El agua	17
2.1.2 El Sol	18
2.1.3 La gravedad	18
2.1.4 El viento	18
2.1.5 Los organismos vivos	19
2.2 Factores geodinámicos	19
2.2.1 Litológicos	19
2.2.2 Estratígrafos	19
2.2.3 Tectónicos	20
2.2.4 Topográficos	20
2.2.5 Climáticos	20
2.2.6 Hidrológicos	20
2.2.7 Antrópicos	21

2.3 Fenómenos de remoción en masa	21
2.3.1 Deslizamientos	21
2.3.2 Reptación de suelos y/o rocas	23
2.3.3 Derrumbamientos	24
2.3.4 Hundimientos	25
2.4 Fenómenos de flujos hídricos	26
2.4.1 Arroyada difusa	27
2.4.2 Erosión en cárcavas	28
2.4.3 Torrentes o flujos torrenciales	29
2.4.4 Riadas o avenidas	31
2.4.5 Desbordes	32
2.4.6 Inundaciones	34
2.4.7 Erosión de riberas	35
2.4.8 Avalanchas de nieve	37
III. METODOLOGIA DE ESTUDIO DE LOS FENOMENOS GEODINAMICA EXTERNA	39
3.1 Aspectos básicos para los estudios y evaluación geodinámica	39
3.1.1 Litología y estructura	40
3.1.2 Geomorfología y fisiografía	40
3.1.3 Meteorología y clima	41
3.1.4 Hidrología	41
3.1.5 Vegetación	42
3.1.6 Actividades antrópicas	42
3.1.7 Edafología y mecánica de suelos	43
3.1.8 Geodinámica	44
3.2 Procedimientos	44
3.2.1 Evaluación o diagnóstico de carácter preliminar	44

3.2.2 Estudios de caracter definitivo	45
ETAPAS	
I. Recopilación y análisis de información existente.	45
II. Investigación de campo.	45
III. Procedimiento de gabinete y laboratorio.	46
IV. Estaciones de observación y monitoreo de los fenómenos	47
IV. MEDIDAS DE TRATAMIENTO Y CONTROL GEODINAMICO	49
4.1 Control de erosión en laderas.	50
4.1.1 Terrazas de absorción.	50
4.1.2 Acondicionamiento y recuperación de andenes.	51
4.1.3 Zanjas de infiltración.	51
4.1.4 Siembras en curvas de nivel.	52
4.1.5 Repoblación forestal o reforestación.	53
4.1.6 Repoblación de pastos nativos.	53
4.2 Control de la erosión en cárcavas	54
4.2.1 Sistemas de diques transversales	55
4.2.2 Regeneración de cubierta vegetal	56
4.3 Control de torrentes y hualcos	56
4.3.1 Protección y estabilización de taludés	57
4.3.2 Corrección y limpieza del cauce	57
4.3.3 Disipadores de energía del flujo	58
a. Saltos hidráulicos	58
b. Muros de contención en zig-zag	59
c. Pozas de sedimentación	60

d. Distribución del flujo por canales de derivación de emergencia	60
e. Barreras vivas o bosques de protección	61
4.3.4 Canalización de los flujos	62
4.4 Control de desbordes, erosión de riberas e inundaciones	63
4.4.1 Barreras vivas	64
4.4.2 Pequeñas obras hidrotécnicas	64
a. Los macarrones o tetrápodos	65
b. Sacos de arena	65
c. Fibra textil "Bidim"	66
d. Diques enmallados	67
e. Terraplenes	67
f. Pedraplenes o enrocados	68
4.4.3 Grandes obras ingenieriles	68
a. Métodos de embalses	68
b. Métodos de encauzamientos o canalización	69
4.5 Tratamiento y control de deslizamientos	71
4.5.1 Tratamiento de la superficie del talud	71
4.5.2 Estructuras de sostenimiento	72
4.5.3 Los anclajes	72
4.5.4 Otras medidas	73
4.6 Control de derrumbes y desprendimiento de rocas	74
GLOSARIO	75
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	83

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su reconocimiento y agradece al Grupo de Tecnología Intermedia (ITDG), en especial a Andrew Maskrey, representante de la institución en el Perú, por el amplio apoyo brindado y haber hecho posible la publicación de este manual.

Del mismo modo, agradece la colaboración de sus compañeros de trabajo Julio Oviden, Julia Vicuña, entre otros, que aportaron con sus sugerencias a la revisión y corrección de la redacción de esta obra, orientada a contribuir en el conocimiento de los fenómenos geodinámicos, causa principal de los desastres en nuestro país.

Los conceptos que aquí se exponen surgen de la experiencia adquirida en los estudios y trabajos realizados en el valle del río Rímac y otros lugares del país en los últimos ocho años, así como la experiencia desarrollada por otros profesionales investigadores para quienes va mi respeto y reconocimiento.

Las impresiones fotográficas fueron obtenidas de los archivos del autor, del Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES) y del Grupo de Tecnología Intermedia, a quienes agradezco su aporte.

La publicación de este manual no habría sido posible sin la contribución económica de OXFAM, para quienes va mi sincero reconocimiento.

El autor

PRESENTACION

El Perú es un país de desastres por excelencia. El desarrollo de una estructura productiva y social cada vez menos articulada a la capacidad de uso mayor de los recursos naturales y culturales del país, hace que los fenómenos geodinámicos ocurran con mayor frecuencia y causen estragos en una sociedad y economía con niveles alarmantes de vulnerabilidad. El cuento de que ocurren los desastres porque llueve o por obra de fuerzas mayores ya no tiene gran resonancia, cuando los políticos e intelectuales, frecuentemente, utilizan la palabra desastre ó catastrofe para describir el estado del país.

El estudio y tratamiento de los fenómenos geodinámicos normalmente se restringe a los geólogos e ingenieros especializados en la materia. No existe una información general sobre el tema dirigido hacia la población. Justamente el valor de este manual reside en que ha sido escrito pensando en un lector no-especializado. Lejos de ser un documento teórico ha surgido de la experiencia, observación y aprendizaje del trabajo de campo, lo cual presta mayor autenticidad a su contenido. Hemos sido testigos de los ocho años durante los cuales el autor ha trabajado mano a mano con poblaciones vulnerables en el valle del Rímac y en la selva de San Martín, buscando e implementando soluciones prácticas a problemas geodinámicos reales.

Si la ciencia y la tecnología se alejan del pueblo, pierden contacto con la realidad y dejan de contribuir al desarrollo del país. Nuestro reto, por lo tanto, tiene que ser la búsqueda y difusión de soluciones posibles a problemas reales. Creemos que este manual contribuirá a analizar y

entender el medio geográfico que nos rodea y así reconocer que es posible una convivencia ambiental con nuestro medio. Pensamos que este texto puede ser de gran utilidad para: Municipios y Gobiernos Regionales, Organismos No-Gubernamentales que trabajan en el campo, estudiantes y docentes universitarios, organizaciones poblacionales y otros cuya residencia o quehacer los obliga a confrontar la realidad geodinámica del país.

Con esta publicación nuestro deseo es que se apliquen estos conocimientos a la realidad del país y que se genere una mayor capacidad de respuesta entre amplios sectores de la población.

Andrew Maskrey

INTRODUCCION

Los fenómenos geodinámicos como los huaicos, deslizamientos, inundaciones, etc., ocurren desde tiempos geológicos pasados en la superficie terrestre como parte de su evolución natural. Esta superficie sobre la cual habitamos, se encuentra sometida a procesos geomorfológicos que la desgastan y modelan, bajo la acción directa e indirecta de agentes geodinámicos.

En este proceso de origen natural, el hombre tiene una intervención cada vez más nefasta que propicia la ocurrencia frecuente de fenómenos geodinámicos y determina que sus efectos sean mayores.

Muchas de las actividades que el hombre realiza sobre la superficie terrestre dan lugar a situaciones que casi siempre son desfavorables, por ejemplo: actividades mal llevadas como la agricultura expansiva en terrenos muy inclinados, sobrepastoreo, explotación indiscriminada de bosques de protección, entre otros, que originan en la mayoría de los casos, intensa erosión, empobrecimiento y desaparición del suelo. Asimismo, provocan cambios notables en el balance hídrico, régimen de lluvias y escorrentía, dando paso a grandes inundaciones luego de largos periodos de sequía, pues al no existir vegetación arborea, disminuye la evapotranspiración y la humedad atmosférica. El resultado final es la progresiva desertización.

En consecuencia, estas modificaciones, que escapan al control del hombre, tienen graves efectos sobre la humanidad haciendo difícil su desarrollo, sobre todo en las regiones y países más pobres del mundo. Los desastres en el Perú tienen amplia manifestación a lo largo y ancho

del territorio debido a las características geológicas, geomorfológicas, climatológicas, etc. que determinan un comportamiento geodinámico muy activo: sismos, huaicos, deslizamientos, inundaciones, etc. Los efectos de estos fenómenos naturales se magnifican en gran medida por el acelerado proceso de vulnerabilidad de los centros poblados y población en general. Asimismo, el manejo inadecuado de los recursos naturales conlleva a la destrucción del entorno ecológico y propicia el desarrollo de los fenómenos geodinámicos peligrosos.

Las diferentes situaciones de riesgo de desastres que existen en el Perú, plantean la necesidad de difundir o divulgar los conocimientos sobre desastres y los aspectos que comprenden los fenómenos geodinámicos peligrosos, factores de vulnerabilidad, la mitigación y prevención de desastres y el manejo de los recursos naturales. Es preciso que esta información llegue hasta las poblaciones urbanas y rurales que frecuentemente enfrentan o conviven con los desastres, mediante acciones educativas.

Para esto es importante que las instituciones públicas o privadas y Organismos no gubernamentales (ONGs), que desarrollan actividades de promoción y capacitación, tanto en el ámbito urbano como rural, promuevan mayor interés hacia la seguridad y prevención de desastres.

I

GEODINAMICA Y PROCESOS GEODINAMICOS

Se refiere a todos los movimientos que experimenta la Tierra desde sus inicios, tanto aquellos que se originan en su interior (geodinámica interna), como los que se generan por la interacción de la hidrósfera y/o atmósfera (fuerzas externas) sobre la corteza terrestre (geodinámica externa).

La Geodinámica es una disciplina de las ciencias geológicas, su metodología nos permite comprender como ocurren los fenómenos, cuales son las causas y factores que los generan, las condiciones en que se desarrollan y, finalmente, sus efectos sobre el globo terrestre.

Para esto, se vale de otras disciplinas como la Geomorfología, Hidrología, Meteorología, Tectónica, Sedimentología, Fotogeología, etc. que permiten conocer todos los factores que participan en el desarrollo de los fenómenos geodinámicos.

Nuestro planeta, constituido por un conjunto de materias como: agua, aire, minerales, rocas, etc., desde sus inicios se encuentra sometido a grandes eventos dinámicos que provocan su transformación y evolución bajo la acción de grandes fuerzas internas y externas, que constituyen los procesos geodinámicos endógenos y exógenos.

Los procesos geodinámicos endógenos (de origen interno) son espectaculares, constituyen las manifestaciones de la energía interna de la Tierra que crea nuevas estructuras y da origen a los fenómenos sísmicos (terremotos, temblores, tsunamis), fenómenos magmáticos

(volcanes) y fenómenos tectónicos (formación de cadenas de montañas, elevaciones, depresiones topográficas), que conforman el relieve primigenio de la Tierra.

Los procesos geodinámicos exógenos (de origen externo), están representados por los fenómenos que actúan en la superficie terrestre, son esencialmente destructores del relieve primigenio de la Tierra que ha sido formado por los procesos endógenos. La acción de los procesos exógenos se traduce en grandes ciclos de erosión que desgastan y modelan la superficie y en ciclos de sedimentación, que dan lugar a nuevas rocas.

II

FENOMENOS DE GEODINAMICA EXTERNA

Son todos aquellos fenómenos que participan en la evolución del modelado de la superficie terrestre, como resultado de la interacción de agentes geodinámicos, que pueden ser percibidos por el hombre. Ocurren bajo diferentes modalidades o mecanismos, dependiendo del agente principal y los factores que participan en su origen y desarrollo. Se clasifican en: fenómenos de remoción en masa, flujos hídricos y otros.

2.1 Agentes geodinámicos

2.1.1 El agua

Es el agente geodinámico principal y su acción modeladora de la superficie es casi universal. Participa en todas las etapas o fases de los ciclos de erosión y sedimentación tales como:

- a) En la meteorización, como agente de la descomposición química de materiales rocosos.
- b) En la remoción de dichos materiales rocosos, ya sea como energía de un cuerpo líquido: lluvias, arroyadas, torrentes, ríos, corrientes marinas, etc, o como sólido: hielo en granizada, nevados y glaciares.
- c) Finalmente en la acumulación de los sedimentos o sedimentación propiamente dicha, que casi siempre se realiza en medios acuosos: cuencas de ríos, lagos, mares, etc.

Las gotas de lluvia al impactar en la superficie terrestre desarrollan una labor de desgaste, producen la salpicadura de pequeñas partículas del suelo y su efecto es mucho mayor en las zonas desprovistas de vegetación. La erosión se intensifica a medida que se concentran en arroyadas para luego formar los cursos de aguas mayores.

De la lluvia que cae en una región, parte de ésta se infiltra en el terreno saturándolo. La cantidad de agua que excede la capacidad de infiltración del terreno, se escurre por la superficie, vertientes y laderas formando las "arroyadas difusas", denominadas también "aguas salvajes"; estas a su vez dan origen a los torrentes y finalmente a los ríos que alimentan lagos, lagunas y mares.

2.1.2 El Sol

Al igual que el agua interviene en todos los procesos que ocurren en la tierra, mediante las variaciones de temperatura, influye en el comportamiento del agua y el viento, propiciando cambios en el estado o resistencia de los cuerpos (dilatación, contracción y ruptura).

2.1.3 La gravedad

La fuerza de atracción gravitacional de la Tierra es un agente inherente a la dinámica de ésta, esta presente en todos los procesos y fenómenos que tienen lugar en la superficie; su acción es más evidente en los fenómenos de remoción en masa, facilita la caída de los cuerpos.

2.1.4 El viento

Al igual que el agua, el viento ejerce una acción de movilización o transporte y otra de erosión pero de naturaleza totalmente distinta. La acción del viento (acción eólica), se produce en toda su extensión en los desiertos, en regiones de clima extremadamente seco donde existe muy poca vegetación y en regiones tropicales, acompañado por precipitaciones pluviales a modo de tormentas.

Las mayores manifestaciones del viento son los huracanes y tormentas que tienen efectos devastadores, capaces de arrasar casas, árboles, provocando desastres en muchas ciudades. Esto es muy frecuente en las regiones de Australia, Norte y Centroamérica, principalmente.

2.1.5 Los organismos vivos

La actividad que realizan los seres orgánicos sobre la superficie terrestre, casi siempre ha pasado desapercibida. Hoy en día no podemos desconocer la importante movilización de materiales y el modelado que resulta de dicha acción, desde los seres unicelulares hasta los más evolucionados como el hombre. Todos contribuyen a la creación de nuevas formas en el relieve terrestre, desde la formación de arrecifes de coral o madrigueras de roedores, hasta las grandes canteras de explotación de yacimientos minerales y los cortes de taludes para la construcción de grandes obras. Estos son factores que contribuyen al desequilibrio y por ende al desarrollo de fenómenos geodinámicos.

2.2 Factores geodinámicos

La formación y desarrollo de los fenómenos geodinámicos están condicionados a ciertos factores que determinan su intensidad, magnitud y frecuencia. Algunos de los factores o causas tienen una participación pasiva o estática, mientras que los otros son activos o desencadenantes.

Entre los principales figuran:

2.2.1 Litológicos

Las rocas que afloran en un lugar según sea su naturaleza, composición mineral o propiedades físicas y químicas, van a tener un determinado comportamiento y modo de evolucionar en el ambiente en que se encuentran. Así tendremos por ejemplo: rocas duras, macizas, débiles, no consolidadas, inestables, etc., que dan lugar a los materiales de carga que posteriormente serán remocionados.

2.2.2 Estratigráficos

Se refiere al modo en que yacen o están dispuestas las rocas, lo que determina la estabilidad o inestabilidad de los terrenos así por ejemplo, en capas gruesas, delgadas, intercaladas, o alternadas con estratos macizos blandos, deleznable, permeables o impermeables. Las con-

diciones de estabilidad serán menores donde las condiciones climáticas y las superficies de exposición de las rocas son adversas.

2.2.3 Tectónicos

Está vinculado al tipo, modalidad, magnitud e intensidad de deformación que presentan los afloramientos rocosos tales como: fallas, pliegues, diaclasas que dislocan los macizos y rompen la estabilidad de la estructura primaria de la roca. Por otro lado, se refiere también a la presencia de evidencias del tectonismo reciente o neotectónica como fuente de inestabilidad y deformación, así como de liberación de energía sísmica. (zona sismogénica o sismotectónica)

2.2.4 Topográficos

Son las características morfológicas del relieve de la superficie terrestre, la expresión del nivel de desarrollo alcanzado en el proceso evolutivo. Las pendientes, agudeza, amplitud, profundidad de dicho relieve, nos darán la idea del grado de equilibrio o desequilibrio de los materiales que la constituyen, y del modo o mecanismo de los procesos morfodinámicos que se desarrollan en dicha superficie.

2.2.5 Climatológicos

Las variables climatológicas como temperatura, humedad, precipitación y otras, según sea su manifestación y ocurrencia, participan de las condiciones ambientales de una región y determinan la velocidad de meteorización de la roca, la intensidad, frecuencia y magnitud de los fenómenos hidrometeorológicos (lluvias torrenciales, huracanes), que desencadenan otras manifestaciones geodinámicas de magnitudes catastróficas.

2.2.6 Hidrológicos

Se refiere a la acción de las aguas de escorrentía superficial y subterránea que provocan la saturación y sobrepeso de los materiales rocosos, el socavamiento y erosión de los taludes y la disolución de las rocas solubles. La presión que ejerce el agua sobre las rocas y suelos, hace que se alteren las condiciones de estabilidad de los taludes y se propicien fenómenos como deslizamientos, hundimientos, etc.

2.2.7 Antrópicos

Son todas las actividades mediante las cuales el hombre altera y rompe el equilibrio del medio natural, por ejemplo: la deforestación por la tala de bosques y sobrepastoreo que destruye la cobertura vegetal, la deficiente infraestructura de riego que sobresaturan los terrenos y facilitan la remoción del suelo, las inadecuadas prácticas agrícolas y agronómicas que empobrecen el suelo dejándolo improductivo, propiciando su abandono.

También la remoción de tierras en la ejecución de obras civiles, explotación de yacimientos y canteras, dejan taludes inestables, así como la acumulación y sobrecarga de desmontes o desperdicios sobre terrenos no apropiados. Todas estas actividades crean condiciones de desequilibrio que aceleran el desarrollo de fenómenos geodinámicos.

2.3 Fenómenos de remoción en masa

Se denominan así a los fenómenos geológicos que en su mecanismo involucran la movilización de grandes volúmenes de materiales rocosos hacia niveles inferiores, bajo la acción directa de la gravitación terrestre. La presencia del agua en pequeñas cantidades, sin ser el agente principal, influye en el desarrollo de estos fenómenos con más frecuencia en los terrenos escarpados de las vertientes de los ríos, lagos, acantilados, y áreas geológicamente jóvenes donde los procesos de erosión de taludes y el tectomismo son activos y la sismicidad es alta.

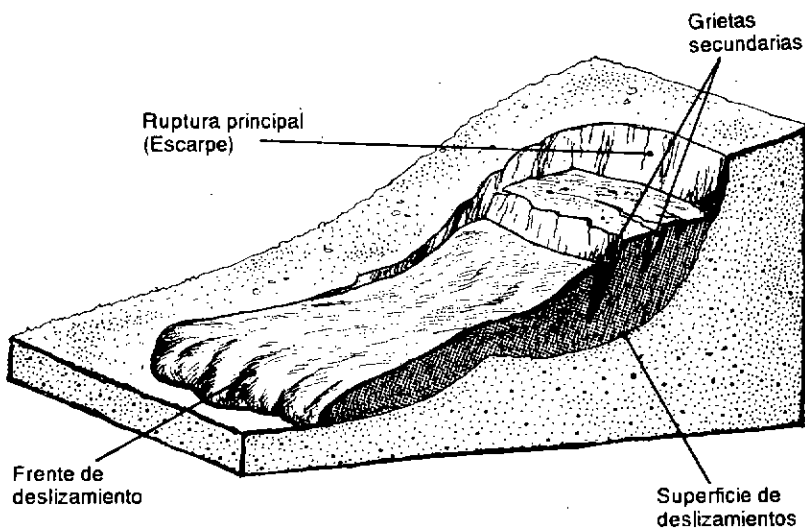
Los fenómenos de remoción en masa ocurren como movimientos gravitacionales de variado carácter y magnitud. Los más conocidos son: los deslizamientos, la reptación de suelos y rocas, los derrumbamientos y los hundimientos.

2.3.1 Deslizamientos

Son las manifestaciones más impresionantes de los fenómenos de remoción en masa. Se caracterizan por la formación de una superficie de ruptura recta o curvada a partir de la cual se desplaza toda la porción de terreno separada del conjunto, con la misma velocidad en todas sus partes, conservando su estructura y forma original. Los deslizamientos pueden involucrar en su desarrollo materiales rocosos y/o suelos.

La ocurrencia de deslizamientos esta condicionada a factores como:

- Estructura geológica proclive a deslizarse debido a la inestabilidad manifiesta por la disposición de las rocas.
- Intensidad de fracturas con respecto a las superficies libres del afloramiento y fallas geológicas activas.



▲
Block-diagrama esquemático de un deslizamiento.

Deslizamiento antiguo, afectado posteriormente por flujos de barro. Valle del río Rímac.



- Naturaleza o composición litológica susceptible de cambiar su estado de equilibrio por absorción de agua o vibración sísmica.
- La morfología y pendiente del terreno muy agreste y/o pronunciado que dificultan la estabilidad de las masas rocosas.
- Las condiciones hidrológicas y el comportamiento de la napa freática (agua subterránea) sobre los terrenos en pendiente:

Los factores desencadenantes de los deslizamientos son:

- Socavación de taludes por acción fluvial, torrencial o antrópica.
- Movimientos sísmicos cuya intensidad de sacudimiento supera el límite de resistencia o estabilidad de la roca.
- Saturación de agua en los terrenos inestables, por infiltración de aguas de lluvia o por influencia de la napa freática.
- Activación de fallas geológicas por neotéctonismo.

Existen evidencias de campo que permiten identificar un terreno afectado por deslizamientos. Lo característico es:

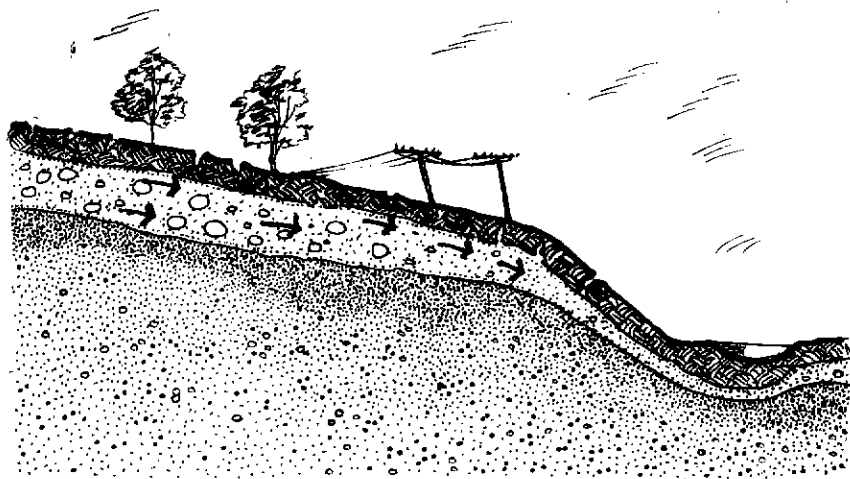
- Presencia de grietas semicirculares en la parte superior del cuerpo deslizante.
- Escarpas y desniveles topográficos asociados a cambios de pendiente del terreno.
- Ruptura y desplazamiento de muros, cercos, calles, caminos, carreteras.
- Árboles con el tronco torcido o encorvados.

2.3.2 Reptación de suelos y/o rocas

Es el movimiento lento del suelo y/o de detritos rocosos cuesta abajo, por lo general no perceptible (salvo mediante reiteradas observaciones), que afecta la parte superficial de la ladera, la capa de suelo y en algunos casos la parte superior de la roca alterada.

Su ocurrencia esta influida por la presencia de lluvias o de fusión de nieves que saturan los suelos en ambientes húmedos y sobre laderas con pendientes moderadas.

Por lo general los efectos de la reptación de suelos no son muy visibles, excepto sobre la vegetación y las estructuras construidas por



Sección esquemática de la reptación de suelos

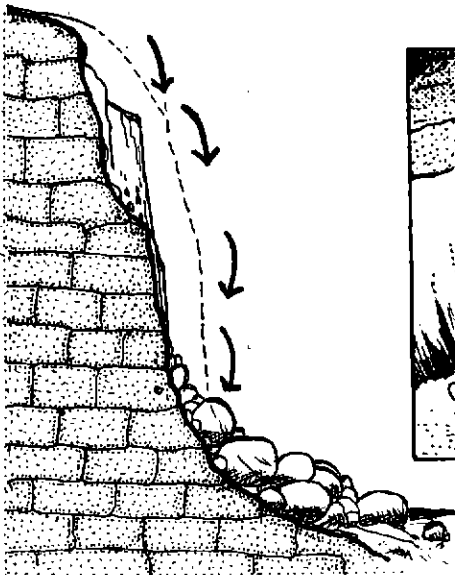
el hombre. Se hacen evidentes por la presencia de árboles encorvados, postes de alumbrado y teléfonos inclinados, agrietamiento de paredes, ruptura de cercos, etc.

2.3.3 Derrumbamientos

Incluye los movimientos y caída violenta de materiales rocosos de variables dimensiones. Las principales causas son las siguientes:

- La fuerza gravitacional de la Tierra.
- Grado e intensidad de fractura de la roca.
- Efectos de meteorización (alteración de la roca).
- Efectos de congelamiento del agua en las fracturas.
- Presión de las raíces de los árboles en las fracturas.

Los factores que inician un derrumbe frecuentemente suelen ser los movimientos sísmicos, las excavaciones naturales (erosión) o artificiales y la baja cohesión de los materiales que constituyen los taludes. Los ambientes mas propensos a estos fenómenos son: los taludes verticales de suelos o rocas bastante fracturadas; los cortes de las carreteras, caminos, canteras, los acantilados marinos, taludes ribereños, etc.



Arriba, esquema de un derrumbe típico. Al lado izquierdo, sección mostrando el desarrollo de un derrumbamiento.

A diferencia de otros fenómenos de remoción en masa, éstos se caracterizan por el movimiento desordenado, acompañado de fuertes ruidos. Un mecanismo particular lo constituye el desprendimiento de bloques rocosos de diferentes tamaños a manera de caída libre sin rozar con la superficie.

2.3.4 Hundimientos

En contraste con otros movimientos, éstos no tienen lugar a lo largo de una superficie libre, sino que se dan por el asentamiento del material hacia abajo.

La causa más común es la remoción lenta del material debajo de la masa que se hundirá por falta de base o sostén.

Ejemplos comunes son los sumideros en regiones calcáreas, los hoyos por disolución de las calizas y por acción de aguas ácidas con Anhídrido Carbónico (CO^2). La remoción del material en profundidad por

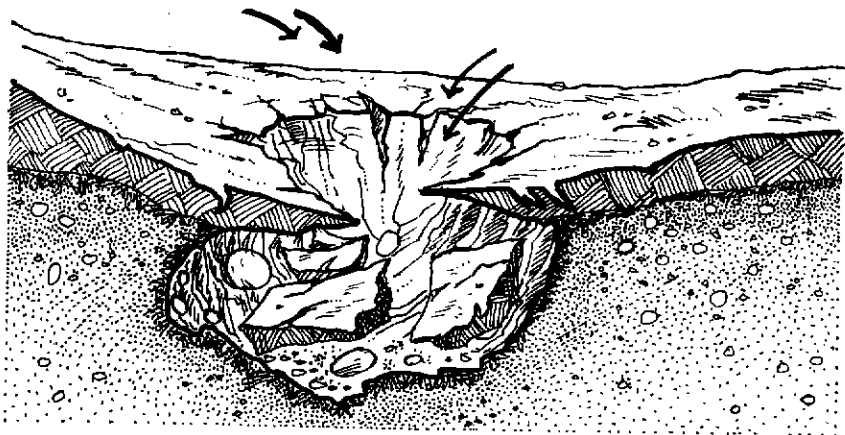


Ilustración de hundimiento y colapso de una caverna por disolución de calizas.

explotaciones mineras, el asentamiento de masas falladas; la sobrecarga de edificaciones sobre terrenos compresibles, también son causas de hundimientos y/o asentamientos.

2.4 Fenómenos de flujos hídricos

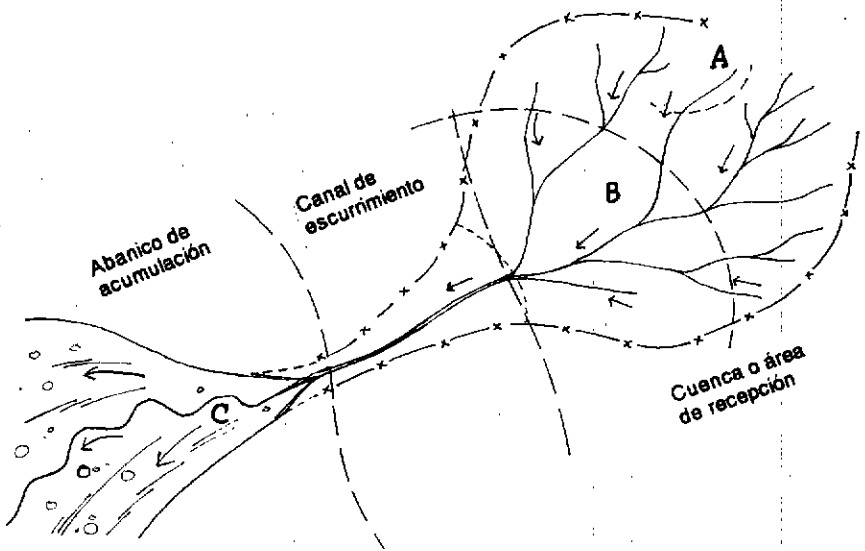
Se denominan así a todas aquellas manifestaciones geodinámicas que tienen como agente principal al agua de escorrentía superficial que se desplaza en forma difusa o a lo largo de un cauce regular. Dichos flujos pueden ser de carácter temporal, estacionario o permanente.

Las principales manifestaciones de flujos hídricos van desde las pequeñas arroyadas temporales hasta los grandes cursos de agua de régimen permanente como los ríos. Forman parte de una unidad hidrográfica de la cuenca, correspondiéndoles diferentes rangos de jerarquía.

A: arroyada difusa, erosión en cárcavas.

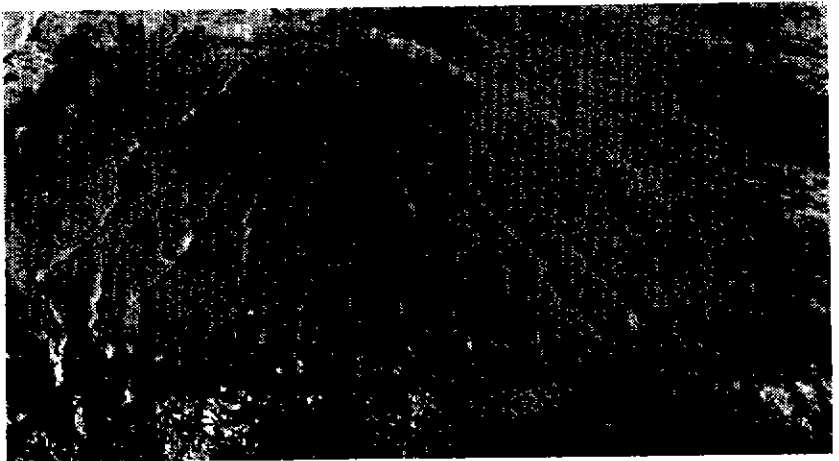
B: flujos torrenciales, huaicos, aluviones.

C: erosión de riberas, desbordes, inundaciones, riadas o avenidas.



2.4.1 Arroyada difusa

Denominada también "Aguas salvajes" se originan directamente de la precipitación de las lluvias que se desplazan sobre la superficie a manera de una lámina de agua, sin llegar a concentrarse en cauces.



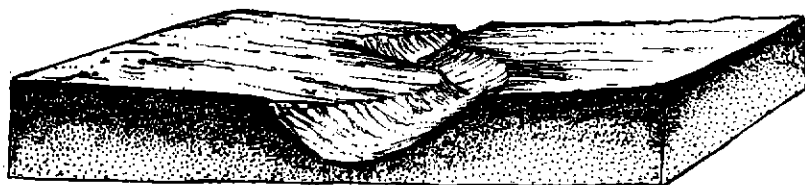
Arroyada difusa y formación de chorreras y cárcavas por acción de las aguas salvajes. Valle del Rimac, Lima-Perú.

La arroyada difusa es propia de las zonas desprovistas de vegetación y de regiones áridas, donde las precipitaciones son ocasionales pero muy fuertes. Su acción principal es la erosión de las partículas del suelo en forma laminar a lo largo de las laderas, llegando incluso a formar pequeños surcos, dando lugar a la formación de cárcavas y chorreras en terrenos escarpados.

Los fenómenos de arroyada difusa constituyen la etapa inicial del proceso de formación de torrentes temporales.

2.4.2 Erosión de cárcavas

Es otro fenómeno geodinámico de gran importancia en el desgaste y modelado de la superficie terrestre. Se desarrolla en laderas, sobretudo, en terrenos inclinados que tienen limitada cobertura vegetal y en las regiones donde las lluvias son estacionales e intensas.



Arriba, block-diagrama mostrando una cárcava en formación. Al lado derecho, evolución de una cárcava dando origen a un torrente. Valle del Rímac, Lima-Perú.



Las cárcavas son zanjas o surcos que se forman en las laderas, por acción de las aguas superficiales que al desplazarse ladera abajo, tienen la suficiente capacidad de erosionar los materiales finos de la superficie a lo largo de su recorrido. Se inicia en la parte baja de la ladera y avanza en sentido regresivo hacia la parte alta, siguen generalmente la línea de

máxima pendiente del terreno. Este fenómeno se hace más intenso a medida que se incrementa el volumen de agua que se desplaza por dicha endidura.

La evolución de las cárcavas se dan tanto en profundidad a lo largo de su eje longitudinal como hacia los extremos laterales, ganando así profundidad y extensión muy rápidamente.

Las cárcavas constituyen la etapa embrionaria o inicio de las torrenteras o "quebradas secas", representan, además, el inicio o punto de partida de los flujos aluviónicos de gran capacidad de destrucción.

2.4.3 Torrentes o flujos torrenciales

Se denominan torrentes a los cursos de agua que se forman por la confluencia de arroyos formados inmediatamente después de las lluvias torrenciales o aguaceros, o en algunos casos, debido a la rápida fusión de los nevados en las regiones montañosas.

El espacio geográfico donde se desarrollan los torrentes se llaman torrenteras o quebradas, labradas en las laderas o vertientes de una cuenca hidrográfica mayor.

Consta de 3 partes:

Cuenca de recepción o cabecera, donde se concentran los flujos de agua procedente de las lluvias, aquí se inicia el escurrimiento superficial y remoción de sedimentos.

Canal de escurrimiento, conducto por donde se transportan y evacúan los flujos provenientes de la cabecera.

Abanico o cono de acumulación de los materiales, que movilizan los flujos torrenciales, llamado también cono de deyección.

Su carácter es temporal o estacionario según la intensidad y duración de las lluvias. En tiempo seco carecen de agua o traen muy poca. Pero, durante los fuertes chubascos y/o fusión intensa de las nieves, los torrentes alcanzan su máximo desarrollo, corren impetuosamente arrasando abundante carga sólida consistente en arena, grava y hasta bloques rocosos de gran tamaño, reforzando considerablemente su acción destructiva.

La acción principal de los torrentes es la erosión lateral a lo largo del cauce por donde se desplaza, profundizándolo rápidamente, dando lugar a valles angostos de pendiente pronunciadas.

Una vez que el torrente alcanza la base de la vertiente y sale a la llanura, al pie de la montaña, la velocidad de la corriente disminuye bruscamente y se expande sobre la superficie en forma de abanico, donde se deposita o acumula la carga que acarrea desde las partes altas de la montaña.

Las manifestaciones más importantes de los torrentes son los huaicos y aluviones.

Huaicos

Son flujos torrenciales constituídos por una mezcla de materiales detríticos heterogéneos, predominantemente, limo arcilloso, embebidos en agua que se desplazan a lo largo de una "quebrada seca" o torrentera. Estos flujos de barro incluyen en su carga sólida fragmentos de roca de diferente tamaño, inclusive bloques rocosos, que obstruyen completamente el canal provocando represamientos temporales que una vez



Depósito característico dejado por un huaico. San Miguel de Pedregal, Chosica 1987.

superados le dan al flujo mayor violencia y peligrosidad. Estos fenómenos son frecuentes en las regiones áridas y semi-áridas donde la ocurrencia temporal de intensas lluvias da lugar a una rápida erosión del suelo desde las partes altas o nacientes de las torrenteras.

Estos flujos se concentran en el cauce principal o canal de escurrimiento donde alcanzan magnitudes superiores y alta capacidad de remoción, desarrollan intensa erosión lateral y de fondo a lo largo del cauce, finalmente descargan y acumulan su carga en las llanuras de inundación de los ríos donde afluyen o en las superficies bajas formando los abanicos proluviales. Estos fenómenos, por la violencia con que ocurren son fácilmente percibidos por el hombre, debido a que están confinados a los cauces de las quebradas o torrenteras.

Sus efectos son generalmente catastróficos, aunque también suelen ser beneficiosos debido al aporte de sedimentos, muy ricos para la agricultura (limo, arcilla).

Las condiciones que facilitan su formación son:

- Existencia de abundantes materiales sueltos no consolidados en condiciones inestables, en la superficie de las laderas y vertientes.
- Terrenos de pendientes muy pronunciadas.
- Aridez del terreno y escasa vegetación.
- Ocurrencia temporal de intensas lluvias (chubascos).

2.4.4 Riadas o avenidas

Son las crecidas violentas de los cursos de aguas permanentes (ríos y riachuelos). Se manifiestan con la subida del nivel, mayor velocidad y capacidad del agua, para erosionar y transportar sedimentos por el río.

El incremento del caudal es originado por intensas precipitaciones de lluvias, una rápida fusión de nieve o algún fenómeno que altera la dinámica del río como: ruptura de diques o desembalses violentos por terremotos. Estos fenómenos se producen en la parte mediana y superior de los cursos fluviales.

Estas avenidas llegan a superar la capacidad de conducción de los cauces, dando lugar a fenómenos de desbordes e inundaciones, otras

veces, vencen la resistencia de los muros laterales de encauzamiento o de los propios taludes naturales.

Otro de los efectos importantes es el relleno del cauce con sedimentos que acarrea desde el curso superior y medio. Este fenómeno reduce progresivamente la altura de las riberas, de las defensas laterales y la capacidad del cauce facilitando así los desbordes o inundaciones. También reduce la luz o altura de los puentes que cruzan los ríos, destruye, obstruye e inutiliza obras de captación como bocatomas, presas, etc.

Curso superior del río Rímac donde es frecuente el fenómeno de riadas o avenidas.



2.4.5 Desbordes

Son fenómenos que se producen cuando la capacidad de conducción o almacenamiento, es inferior a la cantidad de agua que discurre o se almacena. Puede desarrollarse en diferentes espacios geográficos, como por ejemplo:

- En los cauces fluviales que presentan reducida altura de sus linderos laterales, sean estos terrazas aluviales o muro de encauzamiento. Cuando el cauce se estrangula, el nivel de las aguas alcanza mayor altura. En las lagunas cordilleranas, ubicadas muy cerca a los nevados, debido a la fusión rápida de la nieve, intensas lluvias, desprendimiento de masas de hielo o rocas que propician oleajes que superan los diques de contención y dan lugar a flujos

aluviónicos muy comunes en la Cordillera Blanca, en el departamento de Ancash.

- En las presas almacenadoras o derivadoras de agua que se ubican en los cauces fluviales, cuando por intensas lluvias el nivel de las aguas supera al de las presas; cuando se derrumban o deslizan masas de roca y hacen subir el nivel de las aguas rápidamente.



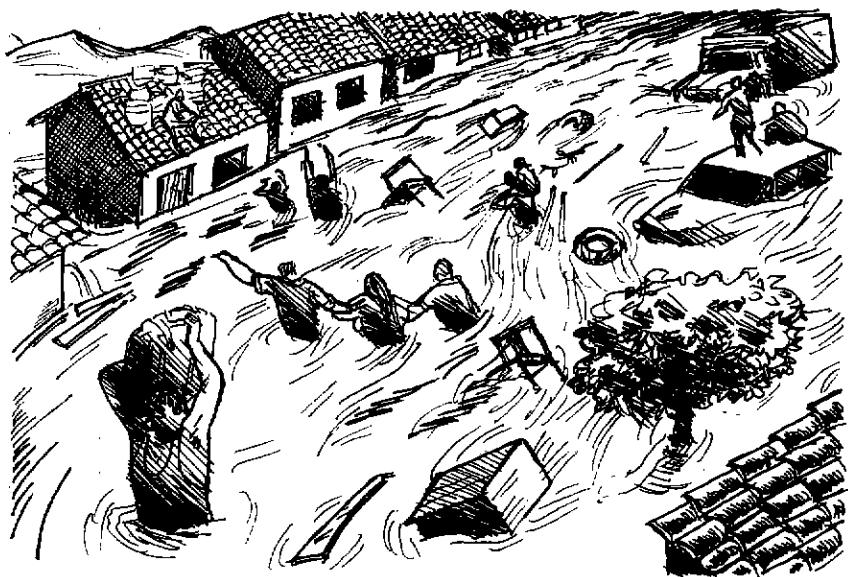
Ilustración que muestra los desbordes del río Rímac en su curso inferior. Sector Chacacayo Naña.

- En los canales que conducen aguas para riego y centrales hidroeléctricas, cuando reciben agua sin control que supera la capacidad de conducción del canal. También, cuando el canal presenta pendientes muy bajas, el agua se empoza y se desborda. Y cuando accidentalmente por efecto de sismos y otros fenómenos se bloquean los canales de conducción y no se corrigen a tiempo.

Los efectos de los desbordes son múltiples, entre los principales podemos señalar a las inundaciones de los terrenos ribereños en zonas urbanas o terrenos de cultivo, muy frecuentes en el río Rímac y otros ríos de la vertiente occidental de los andes, valles interandinos y de la amazonía.

2.4.6 Inundaciones

Son los fenómenos que en el mundo causan mayor impacto en numerosas poblaciones. Se puede definir como el emplazamiento paulatino o violento de las aguas en cantidades abundantes sobre una superficie determinada.



Su origen se debe a varios factores, según las características del lugar. Entre los principales factores tenemos:

- Lluvias torrenciales y huracanes sobre terrenos que no tienen un buen sistema de drenaje o evacuación de aguas.
- Ruptura y/o desborde de las presas almacenadoras, instaladas en los tramos superiores de los cursos de aguas.
- Desborde en los cauces fluviales, ruptura y/o colapso de los muros de contención o encauzamiento que protegen las riberas de las riadas o avenidas.
- Ocurrencia de los flujos torrenciales como huaicos y su emplazamiento rápido sobre las llanuras de inundación y los conos de deyección.

- Surgimiento de aguas subterráneas en depresiones topográficas que no cuentan con drenaje.
- Maremotos y olas ciclónicas oceánicas que se emplazan sobre las costas bajas.
- Obstrucción de los cauces fluviales por deslizamientos de tierras o bancos de hielo y rocas.

También se puede señalar como un tipo particular de inundación la obstrucción de sistemas de desagüe, así como la rotura de tuberías de agua de una ciudad con deficiencias de drenaje.

Los efectos de las inundaciones son diversos y van desde el simple aniego de calles, hasta la destrucción de pueblos enteros, como ocurrió en el norte peruano en 1983, con el sepultamiento total o parcial de viviendas e infraestructuras de toda índole.

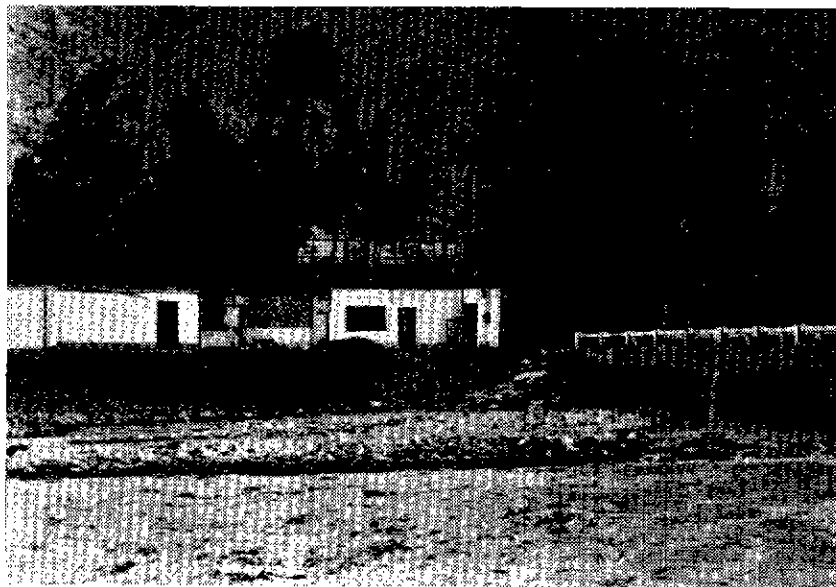
Los efectos son mucho mayores cuando la inundación es producida por los ciclones oceánicos o maremotos a lo largo de las regiones costeras.

Además, hay efectos indirectos luego de las inundaciones que pueden ser de mayor impacto como son las enfermedades epidémicas, hambruna y hasta la muerte. Sin embargo, es necesario señalar que numerosos casos de desastres ocasionados por inundaciones, sobre todo en los países en desarrollo, son el resultado de actividades humanas que incrementan la vulnerabilidad de la misma población y/o magnifican el efecto de dichos fenómenos.

2.4.7 Erosión de riberas

Corresponde al desgaste y remoción de los terrenos ribereños por la acción directa de las aguas a lo largo de los márgenes del cauce.

Ocurre cuando los flujos de agua inciden directamente sobre los terrenos ribereños y vencen la resistencia de la fuerza de fijación de dichos materiales. Esta acción es mayor en los terrenos constituidos por depósitos aluviales (grava, arena, limo), incoherentes y muy vulnerables a la acción física del agua. Dicho fenómeno cobra mayor magnitud y espectacularidad en los cursos fluviales que desarrollan un recorrido



Fenómeno de erosión de riberas muy frecuente en los márgenes del río Rímac. Sector puente Naña, margen derecho.

sinuoso, describiendo curvas agudas. A lo largo de estos cauces, se establecen frentes de erosión en las partes cóncavas y frentes de sedimentación en las convexas.

En los ríos torrentosos de la costa pacífica (caso río Rímac, Chillón, etc.), este fenómeno tiene mayor desarrollo en el curso inferior de menor gradiente.

El fenómeno de erosión de riberas ocurre asociado a la socavación o acción de zapa al pie de los taludes, que propicia desplomes y derrumbes de taludes ribereños por pérdida de estabilidad, lo que finalmente da lugar al retroceso de riberas y ensanchamiento del cauce y llanura de inundación.

Los efectos de la erosión de riberas, se traducen en la pérdida definitiva de terrenos eminentemente agrícolas, como también, de viviendas y obras de infraestructura emplazadas sobre dichos terrenos.

2.4.8 Avalanchas de nieve

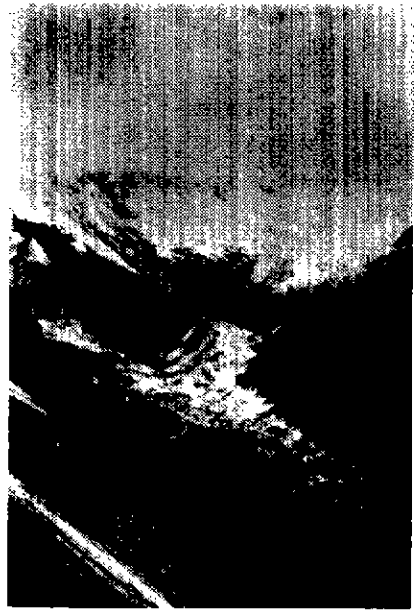
Denominados también aludes de nieve, estos fenómenos se desarrollan en las regiones montañosas cubiertas de nevados y en los casquetes glaciares de las regiones polares. Consisten en el desprendimiento y desplazamiento violento de masas de nieve y hielo pendiente abajo, debido a la pérdida de estabilidad propiciado por:

— Movimientos sísmicos fuertes, cuyas vibraciones rompen el equilibrio de dichos materiales o de las rocas que lo sustentan.

— La acelerada y excesiva acumulación de nieve sobre superficies de acentuada inclinación y precaria estabilidad que no soporta mayor carga.

— La fusión de la nieve o hielo que ocurre en niveles inferiores y que al licuarse crea inestabilidad a las capas superiores, provocando el desprendimiento y movilización de dichas masas.

Las masas de hielo y nieve en su recorrido se convierten en flujos líquidos que alcanzan mayor velocidad y energía, arrastrando todo material a lo largo de su recorrido, llegando a constituirse en un flujo de barro viscoso al cual comúnmente se le denomina alud-aluvión. Sus efectos son catastróficos y han causado numerosas víctimas en nuestro país sobre todo en los poblados del valle del río Santa en la Cordillera Blanca (caso de Yungay, Ranrahirca, etc.).



Zona de influencia de un glaciar donde son frecuentes las avalanchas de nieve. Fotografía de la Cordillera blanca, Ancash-Perú.

III

METODOLOGIA DE ESTUDIOS DE LOS FENOMENOS DE GEODINAMICA EXTERNA

La propuesta metodológica de estudio, esta orientada hacia aquellos fenómenos de geodinámica externa que tienen mayor desarrollo en nuestro país, tales como huacos, deslizamientos e inundaciones, principalmente.

Las diferentes modalidades de ocurrencias de estos fenómenos nos plantean la necesidad de organizar métodos y procedimientos de estudio para conocer de cerca, con precisión y oportunidad cuales son los factores que intervienen en los procesos geodinámicos. Es preciso analizar las causas que los originan para poder plantear las medidas correctivas y de tratamiento más conveniente para cada caso.

El objetivo de la presente propuesta metodológica es señalar en síntesis, el tipo y carácter de información que se necesita para un estudio o evaluación de un lugar determinado.

Asimismo, establecer el procedimiento, las etapas y acciones adecuadas para realizar una investigación que permita calificar y zonificar los terrenos en función de las características y niveles de riesgo geodinámico.

3.1 Aspectos básicos para los estudios y evaluación geodinámica

El desarrollo de los procesos geodinámicos implica la participación de varios agentes que determinan su origen, modalidad, magnitud y

frecuencia. Estos forman parte de los aspectos básicos que deberán tomarse en cuenta en el análisis y evaluación del comportamiento geodinámico de un área cualquiera.

3.1.1 Litología y estructura

Se refiere a la observación de los materiales rocosos que están presentes en el área, diferenciando el substrato rocoso de la cobertura superficial por su estado, así tenemos: los consolidados (o roca propiamente dicha) y los no consolidados e incoherentes, o llamados también, sedimentos o suelos. Dentro de cada grupo, hay que apreciar las características de composición, textura, estructura, distribución o extensión en el terreno y calcular el volumen remocionable. Es importante observar también la naturaleza, el grado de intensidad de las fracturas, el grado de alteración y el estado de conservación de las rocas.

Esta información o parte de ella puede ser consultada y obtenida en los trabajos de investigación o estudios realizados con anterioridad por el Servicio de Geología (hoy INGEMMET), tesis de grado, informes técnicos y otros documentos elaborados por las instituciones especializadas.

3.1.2 Geomorfología y fislograffa

Observación y delimitación de las formas de la superficie terrestre, diferenciando aquellas que se originan por acumulación de las que se producen por desgaste o erosión. Así debemos ubicar la superficie de estudio dentro de las geoformas de ámbito regional, como valles, montañas o zonas litorales y luego establecer las geoformas menores del ámbito local como terrazas, laderas, colinas u otros. Si el área se encuentra dentro de una cuenca torrencial, hay que determinar los parámetros fisiográficos de ésta. Debemos observar los procesos que desgastan y modelan la superficie terrestre, los agentes y los factores modeladores en el marco de la evolución del área, proyectando el comportamiento posterior del terreno en las condiciones climáticas extremas.

Se trata pues, mediante las geoformas del relieve, identificar los fenómenos geodinámicos en proceso de formación y desarrollo. Ya que cada fenómeno crea formas características que le son propias.

3.1.3 Meteorología y clima

Se refiere al análisis y evaluación del comportamiento de los parámetros de precipitación, temperatura, humedad relativa y evaporación a nivel local y regional según sea la amplitud del área en estudio.

Estos factores meteorológicos inciden significativamente en el proceso de meteorización de las rocas. Lo más importante es que crean situaciones de peligro y riesgo de desastre por la ocurrencia violenta de los mismos: tempestades, huracanes, etc.

Los parámetros de meteorología y clima deben analizarse en sus variaciones (diaria, mensual y anual) y su distribución geográfica, durante el mayor período de registro posible. No siempre se cuenta con esta información por no existir estaciones de registro en el área de estudio, en estos casos se deberá utilizar la información de la estación más cercana, mediante el método de estudios regionales. Es muy importante considerar la valiosa información de la población del lugar que en base a su experiencia, pueden dar luces de las condiciones climáticas anteriores.

La información meteorológica la suministra el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI); en algunos casos, se puede conseguir en instituciones como Electrolima, Electroperú, ONERN, Ministerio de Agricultura, etc.

3.1.4 Hidrología

Tiene como objetivo conocer el régimen y escurrimiento superficial que ocurre en los cursos de agua (ríos, riachuelos, etc.), a nivel de cuencas torrenciales, tratando además, en lo posible, de conocer el comportamiento de la escorrentía subterránea, la distribución de los acuíferos y su influencia en los materiales rocosos, suelos y cobertura vegetal.

Para esto, es necesario estudiar los datos de caudales de estaciones de aforos o limnigrafos ubicados en los cursos fluviales; esta información debe ser analizada en sus variables máximas, media y mínimas en los períodos instantáneos (diarios), mensuales y anuales proporcionados por el SENAMHI y otras fuentes de información.

Para la escorrentía subterránea se puede utilizar la información proveniente del inventario de fuentes de pozos, de los cuales se obtiene datos sobre el caudal, niveles piezométricos, rendimiento de los pozos, régimen de explotación, reservas disponibles, y otros.

Es de suma importancia la estimación del caudal máximo de avenida o llamado caudal extraordinario que sirve de base para diseñar obras hidráulicas u otras que se ubiquen en terrenos ribereños.

La información necesaria puede ser obtenida de los registros del SENAMHI, Ministerio de Agricultura, Electrolima y ONERN, en algunos casos, será necesario hacer mediciones de campo y observaciones geomorfológicas de los caudales, buscando evidencias de las máximas crecidas. También es importante la información de la población del lugar más cercano.

3.1.5. Vegetación

Tiene como fin estudiar la cobertura vegetal y conocer las familias y especies de plantas (árboles, arbustos, pastos) que se desarrollan en el área de estudio, clasificando y diferenciando las especies "nativas" o típicas del lugar que se desarrollan fácilmente sin la intervención del hombre, de otras especies "exóticas" impuestas y adaptadas por él. Asimismo, evaluar la extensión de la cobertura vegetal, su estado de conservación, posibilidades de regeneración y recuperación del equilibrio ecológico, con la finalidad de reducir al mínimo la erosión del suelo, una de las causas más importantes de los fenómenos geodinámicos.

3.1.6 Actividades antrópicas

Analiza las actividades que realiza el hombre sobre el medio natural y los recursos que utiliza para su bienestar y desarrollo, dentro del área y a escala regional, diferenciando entre otras actividades:

- a) **Agrícolas:** Dónde y cómo se utiliza el suelo y el agua para desarrollar los cultivos; observar como se lleva a cabo las prácticas agrícolas y los criterios que se emplea para su expansión, si los terrenos tienen las aptitudes para dicho uso, etc.
- b) **Pecuarios:** Ver cómo se organiza la crianza, alimentación y reproducción del ganado. Observar si se usan racionalmente los pastos nativos sin depredar la cobertura vegetal o se ejerce demasiada presión sobre las áreas verdes, provocando el exterminio de las plantas y consiguientemente la desprotección y erosión del suelo.
- c) **Forestales:** Conocer cómo se explotan los bosques, cuál es su distribución y si se hace diferenciación entre los bosques de protección y los bosques de producción para satisfacer la demanda de madera, leña, etc. Ver si existe algún programa de forestación o reforestación del área de estudio.
- d) **Minería:** Ver sobre todo dónde se ubica y cómo se llevan a cabo las actividades extractivas, dónde se acumulan los desechos y relaves mineros, sus efectos de contaminación en los recursos de agua, suelo y atmósfera. Su impacto ambiental.
- e) La construcción de vías de acceso y explotación de canteras tiene como efecto colateral o directo la remoción indiscriminada de los materiales, como roca, suelo y bosque, casi siempre en laderas escarpadas, depresiones próximas a los cauces de los ríos o torrenteras generando mayor inestabilidad y potenciando los efectos destructores de los fenómenos geodinámicos.
- f) También debemos observar la ubicación y emplazamiento de viviendas, centros poblados, obras de infraestructura vial, instalaciones hidroenergéticas, pozos de agua, plantas de bombeo, plantas de tratamiento, tanques reservorios de agua potable, entre otras obras de importancia local y regional. Todas estas instalaciones deben ser vistas desde su ubicación y construcción a fin de determinar las condiciones de seguridad y/o vulnerabilidad frente a cualquier peligro natural, para estructurar el impacto que causan sobre el medio natural.

3.1.7 Edafología y mecánica de suelos

Interesa conocer las características y propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Ver su disponibilidad y capacidad de uso para fines agrícolas de pastoreo, producción forestal y de protección.

Asimismo, se debe analizar las propiedades de los materiales que constituyen la cobertura superficial inconsolidada y los macizos rocosos que afloran en el área, con la finalidad de conocer su comportamiento mecánico frente a los fenómenos geodinámicos y ante los diversos requerimientos de uso, ya sea como fundación o cimiento, o como materiales de construcción en obras civiles.

3.1.8 Geodinámica

Determina el comportamiento geodinámico del área diferenciando todos y cada uno de los fenómenos; aquellos ocurridos en el pasado, los que se encuentran en pleno desarrollo y los que ocurrirán próximamente debido a que se vienen creando las condiciones para ello.

Debemos identificar los agentes, los factores que intervienen, las causas y las condiciones en que ocurren tales fenómenos geodinámicos, luego clasificar en función a su modalidad de ocurrencia, frecuencia y magnitud, y finalmente, delimitar el área de influencia de los fenómenos peligrosos y zonificar el terreno en función a los diferentes niveles de riesgo.

3.2. Procedimientos

Para llevar a cabo el estudio o evaluación geodinámica de un lugar determinado, es fundamental establecer el procedimiento y etapas necesarias que se deben seguir, en concordancia con los objetivos y la rigurosidad de la investigación según sea el caso:

- Si se trata de una evaluación o diagnóstico de carácter preliminar.
- Si se trata de un estudio o investigación de carácter definitivo.

3.2.1. Evaluación o diagnóstico de carácter preliminar.

Consiste en la observación ligera de las características y condiciones geodinámicas de un lugar determinado con la finalidad de tener una

apreciación o referencia general sobre dicha área. Esta puede llevarse a cabo ya sea a través de la revisión de la información existente (estudios previos, mapas, fotografías aéreas, etc.) y/o mediante un reconocimiento de campo.

3.2.2 Estudios de carácter definitivo

Corresponden a trabajos de investigación, organizados en una secuencia de acciones desarrolladas por etapas y que forman parte del procedimiento que a continuación señalamos:

ETAPA I: Recopilación y análisis de información existente

En esta etapa se trata de recoger toda la información sobre el área de estudio en lo referente a aspectos de bibliografía, cartografía (planos y mapas), fotografías aéreas, imágenes de satélite, meteorología, hidrología, etc. Es importante y además necesario, recoger información histórica de eventos geodinámicos ocurridos en el área de estudio: archivos periodísticos, grabaciones de videos, testimonios de los pobladores del lugar que han vivido o conocen de cerca los acontecimientos.

Con toda esta información se elaboran las hipótesis de trabajo y se organiza el procedimiento de la investigación de campo, eligiendo itinerarios para observar todas las características del terreno que interesan para el estudio definitivo. Del mismo modo, se van confirmando o descartando las hipótesis anteriormente elaboradas.

ETAPA II: Investigación de campo

Comprende el reconocimiento general y análisis de los terrenos en el área de estudio, poniendo énfasis en los aspectos señalados anteriormente. Es preferible iniciar el trabajo observando los aspectos geomorfológicos, diferenciando áreas en función de su forma, pendiente o inclinación y naturaleza de los materiales que lo constituyen.

En esta etapa se analizan los diferentes afloramientos rocosos y los tipos de roca que existen. En las partes altas se debe observar la existencia de lagunas, nevados, manantiales y materiales de cobertura

inconsolidada. Así también, la naturaleza, el estado de los afloramientos rocosos y su evolución durante la temporada lluviosa, seca, etc.

En las laderas de los cerros, vertientes y en todos los terrenos inclinados en general, debe buscarse evidencia o indicios de movilización del terreno, tales como:

- Árboles con el tronco torcido.
- Desplazamiento e inclinación de los postes de luz y otros.
- Surgimiento de agua al pie de los taludes de terrenos deslizados.
- Hundimientos o sumideros en la superficie del terreno.
- Desplazamiento de caminos, carreteras, cercos, etc.

Ruptura, agrietamiento y desplazamiento de partes del terreno y los cambios de pendiente que presenta.

En los terrenos próximos a barrancos, acantilados, etc. se deben buscar evidencias que nos indiquen su estabilidad o movimiento, se debe estudiar la naturaleza de los materiales que hay en los barrancos y estimar las condiciones de estabilidad que presentan. También es necesario tomar muestras para hacer los análisis en los laboratorios de mecánica de suelos y/o rocas.

En los terrenos bajos al fondo de los valles o quebradas, ya sea en los cauces o áreas próximas a éstos, debemos observar la naturaleza y las condiciones en que se encuentran las riberas, ver el ancho y la profundidad del cauce. También es necesario buscar los flujos de riada o huaicos en las llanuras de inundación. Si hay bloques rocosos, ver sus dimensiones y abundancia a lo largo del cauce y averiguar el lugar de donde provienen.

Hay que observar y/o estimar los niveles máximos alcanzados por las aguas durante las crecidas o riadas y la ocurrencia de huaicos o aluviones.

Para estudiar los terrenos de gran extensión y poca accesabilidad es indispensable el uso de fotografías aéreas que permitan tener una visión global e integral del área sobre las cuales se pueden cartografiar los fenómenos antiguos, actuales y las probables reactivaciones.

ETAPA III Procedimiento de gabinete y laboratorio

La información recogida en la etapa de investigación de campo debe ser traducida y plasmada en mapas o planos que sirvan de base para la planificación, desarrollo, instalación de obras o proyectos de desarrollo local y regional.

En esta etapa se procede a la preparación de dichos mapas o planos de zonificación geodinámica a la escala apropiada. 1:25,000; 1:5,000 y 1:1,000 según sea la amplitud del área de estudio y el nivel de detalle requerido.

Las muestras de rocas, suelo, o cualquier otro material tomadas en el campo como parte de la investigación, deben ser analizadas en el laboratorio respectivo (mecánica de rocas y/o suelos, petromineralogía.

La redacción del documento final debe ir acompañada de los mapas y planos que muestren clara y fielmente las características geodinámicas del terreno estudiado, el nivel de riesgo o peligro presente y la calificación de los terrenos, señalando las aptitudes del uso respectivo: urbano, agrícola, recreacional, de protección, etc. Todas estas actividades forman parte de la zonificación geodinámica de riesgos de desastres.

ETAPA IV Estaciones de observación o monitoreo de los fenómenos.

Considerando la dinámica continua de los fenómenos geológicos, sobre todo en las regiones montañosas, es necesario organizar la observación y seguimiento de la evolución de tales fenómenos peligrosos, tanto para avanzar en el conocimiento de su dinámica, como para determinar las medidas correctivas o mitigación de sus efectos y prevenir los desastres.

Para esto es necesario la instalación de casetas o sistemas de observación geodinámica. Se pueden considerar aquí métodos instrumentales (topográficos, acústicos, eléctricos, etc.) o de observación directa, tomando como referencia algunos indicadores fijos en el terreno y otros elaborados técnica o artesanalmente.

IV

**MEDIDAS DE TRATAMIENTO
Y CONTROL GEODINAMICO**

Desde las antiguas culturas andinas, el hombre ha demostrado conocer la ocurrencia de fenómenos geodinámicos; con mucho criterio ubicó sus viviendas, fortalezas y otras construcciones importantes, en lugares elevados fuera del cauce de estos fenómenos, además, los usó para enriquecer sus terrenos de cultivo. Con similares criterios y conciencia ha utilizado los recursos naturales, conservando el orden y equilibrio ecológico natural, en algunos casos, construyendo algunas obras para retener el suelo de la erosión y estabilizar las laderas mediante andenerías que, hasta hoy se conservan en muchos lugares.

Sin embargo, el hombre de hoy viene abandonando muchos de éstos criterios y prácticas desarrolladas por nuestros antepasados, dando lugar a que los fenómenos naturales se desarrollen con más frecuencia y mayor magnitud, con efectos negativos para sí mismo.

Ante esta situación, en los últimos tiempos se viene desarrollando la conciencia y necesidad de rescatar las tecnologías andinas con el fin de mejorarlas y adecuarlas para mitigar los efectos y, en el mejor de los casos, controlar el desarrollo de los fenómenos geodinámicos.

Las medidas de tratamiento y control geodinámico deben basarse en el conocimiento cabal de los fenómenos, a través de los estudios e investigaciones previamente desarrollados, partiendo de un enfoque integral de los factores presentes en el ámbito local o regional. Debemos entender que el control de los fenómenos geodinámicos será viable en la medida en que se implementen las técnicas que cumplan funciones complementarias entre sí, que tengan incidencia en las causas y por consiguiente neutralicen los efectos.

En este documento se señalan un conjunto de medidas para cada uno de los fenómenos geodinámicos, clasificados desde el punto de vista genérico, reconociendo de antemano la importancia y necesidad de desarrollar en forma amplia y profunda todas y cada una de las medidas hasta hoy conocidas para el control geodinámico, que es materia de un documento técnico específico.

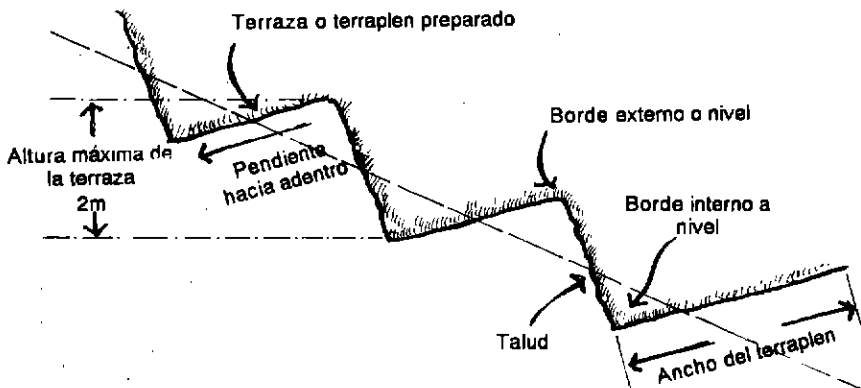
Considerando que las principales causas de los fenómenos geodinámicos son: la erosión, en sus diferentes modalidades y la falta de estabilidad de taludes en general, presentamos las medidas correctivas de acuerdo al tipo de fenómeno correspondiente. Así tenemos:

4.1. Control de erosión en laderas

Requiere de un conjunto de prácticas agrícolas, agronómicas, agrostológicas, forestales, etc., destinadas a conservar y retener el suelo frente a la erosión, para regular la escorrentía superficial de las aguas provenientes de las lluvias. Entre las principales se señalan:

4.1.1 Terrazas de absorción

Son una especie de plataformas o bancos sucesivos que se construyen a manera de escalones a lo largo de las laderas. Tienen una ligera inclinación hacia adentro.



Esquema ilustrativo de las terrazas de absorción.

Las terrazas facilitan que el agua de la lluvia que cae en la ladera se infiltre uniformemente en ella, evitando así la erosión. Además, sirve para cultivar árboles o arbustos. El uso de esta práctica es recomendable en terrenos inclinados cuya capa de suelo sea mayor de 30 cm. de grosor. Puede combinarse con la construcción de pircas en el borde de las terrazas para darle mayor estabilidad.

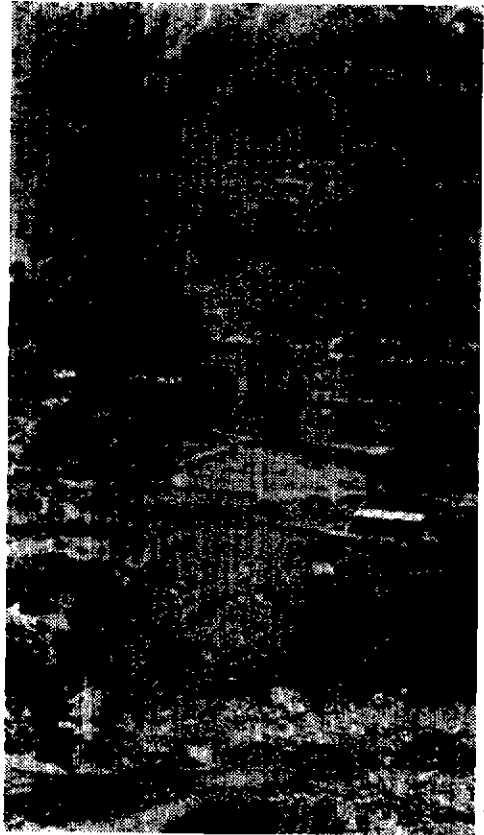
4.1.2 Acondicionamiento y recuperación de andenes

Consiste en restablecer la andenería que se encuentra en proceso de deterioro y erosión por la falta de mantenimiento o abandono. Para esto se utilizan los mismos materiales que existen en el lugar como piedras y tierra.

Esta práctica incaica además de dar estabilidad a las terrazas, reduce la pendiente general de la ladera y permite mayores áreas de terrenos cultivables.

4.1.3 Zanjas de infiltración

Son pequeños canales de forma rectangular o trapezoidal que se construyen en posición casi horizontal, transversalmente a la máxima pendiente del terreno. Tiene como finalidad interceptar el agua que escurre de la parte alta de la ladera anulando su velocidad y



Conservación del suelo y estabilización de taludes mediante andenerías Valle del Rímac.

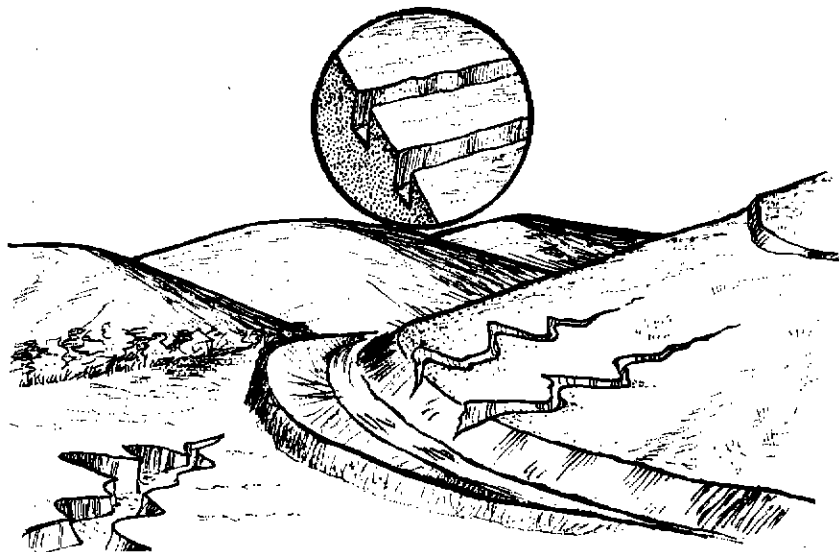
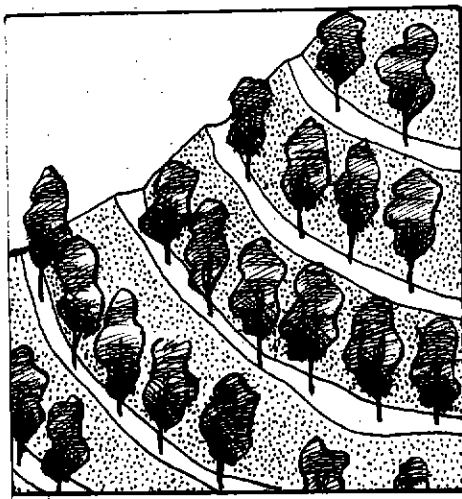


Ilustración gráfica de una zanja de infiltración.

permitiendo mayor infiltración. Tiene efectos positivos como el de reducir la erosión hídrica del suelo y aumentar la productividad de los terrenos.

4.1.4 Siembras en curvas de nivel

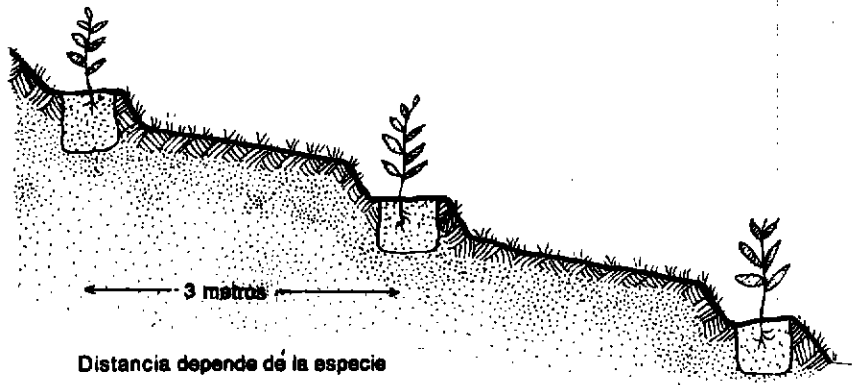
Esta práctica consiste en disponer los cultivos en surcos trazados en sentido transversal a la pendiente, siguiendo niveles horizontales, contrariamente a lo que ocurre cuando los surcos y cultivos se hacen en sentido de la pendiente, donde la mayor parte del agua se escurre violentamente erosionando el suelo, sin lograr una adecuada infiltración del agua.



Cabe señalar la importancia que tiene la rotación de cultivos o los cultivos asociados de varias especies: temporales y permanentes, que le dan la cobertura y protección al suelo y renuevan las sustancias nutrientes y mantienen su productividad.

4.1.5 Repoblación forestal o reforestación

Esta práctica consiste en establecer o restablecer la vegetación en las superficies desprovistas y expuestas a la erosión, por las lluvias y escorrentía superficial, con árboles y arbustos nativos principalmente.



Sección transversal que muestra la reposición forestal en una ladera.

Para esto deberá tomarse en cuenta las variables ambientales del lugar como temperatura, humedad, altitud, aptitud de uso del suelo y se determinará las especies que fácilmente se desarrollan o se adaptan en dichas condiciones. La reforestación además de dar protección al suelo también puede constituirse en una fuente de recursos combustibles madereros y medicinales para beneficio directo de la población.

4.1.6 Repoblación de pastos nativos

La cobertura vegetal mediante pastos, cumple importante función de protección y conservación del suelo. En muchos lugares el mal manejo de este recurso (sobrepastoreo y quema) ha motivado su degradación

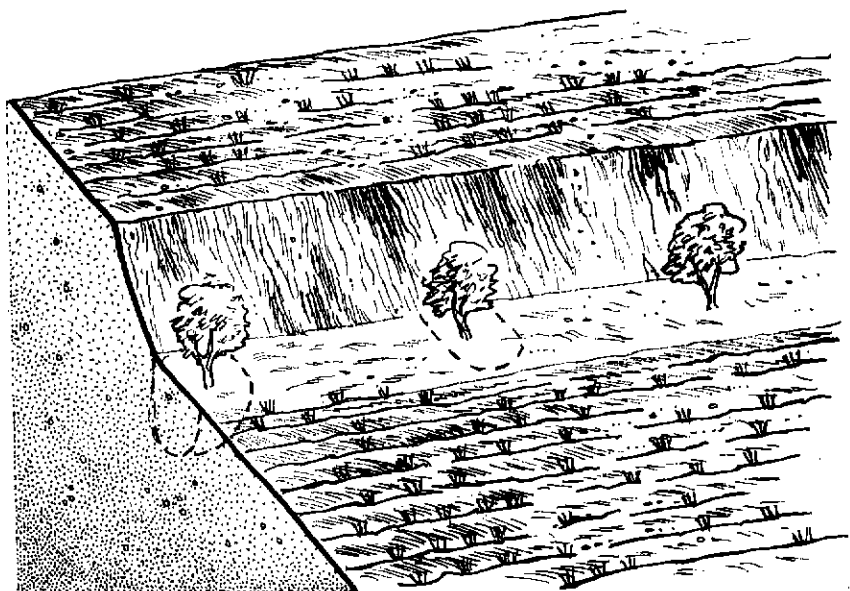


Ilustración gráfica de la repoblación de pastos nativos.

y en algunos casos hasta su desaparición. Por ello es necesario restablecer los pastos nativos de fácil regeneración y desarrollo. Paralelo a esto, se debe organizar el pastoreo del ganado a manera que no se deprede tal recurso, asimismo, se complementará con medidas de conservación de suelo como surcos de infiltración, dispersadores de escorrentía superficial u otros.

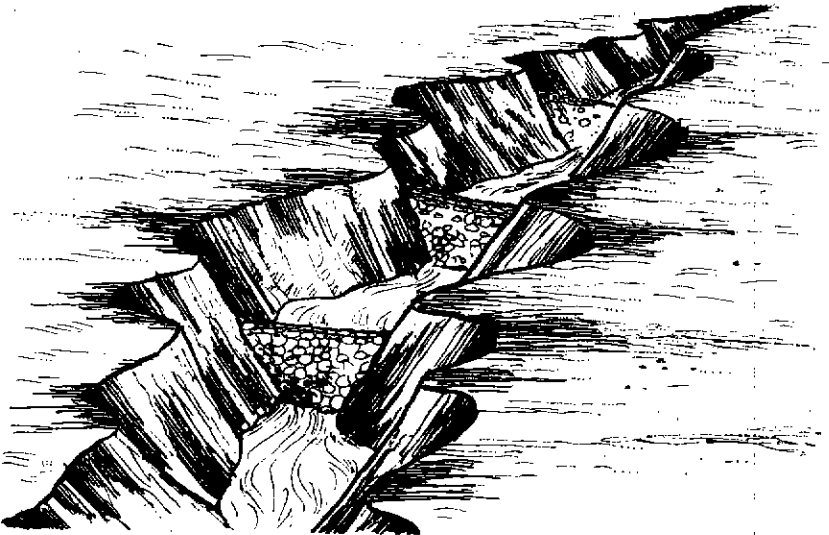
4.2. Control de la erosión en cárcavas

Las acciones deben estar orientadas a las causas que originan las cárcavas, es decir, al control de la erosión a nivel de la ladera, reduciendo el escurrimiento superficial del agua y permitiendo su infiltración uniforme en el suelo y subsuelo, mediante las prácticas de conservación anteriormente señaladas.

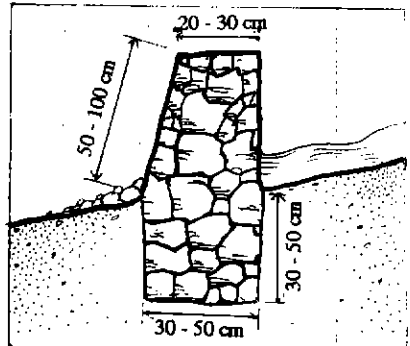
Una vez formada la cárcava, será necesario tratarla directamente en toda su extensión, empezando desde la parte mas alta o nacimiento de la cárcava. Para esto se pueden efectuar los siguientes trabajos:

4.2.1 Sistemas de diques transversales

Se construyen diques, barreras u obstáculos transversales a la cárcava, a fin de disminuir la velocidad del flujo de agua o lodo,



Arriba: Esquema que muestra una de las prácticas de control de cárcava mediante diques transversales.



A la derecha: Sección esquemática de pírc para control de cárcava.

favoreciendo la sedimentación de las partículas y fragmentos sólidos que ésta lleva consigo durante la escorrentía.

Estos diques pueden ser hechos de piedras a modo de pircas, de sacos de arena reforzada con champa, de ramas y pajas con estacas u otros materiales, dependiendo de la pendiente, profundidad y naturaleza de los materiales de cobertura donde se ha emplazado la cárcava, así como de las dimensiones de ésta.

4.2.2 Regeneración de cubierta vegetal

Lo que contribuye también a un eficaz control de la cárcava es la regeneración de la cubierta vegetal a lo largo del canal, paredes laterales y terrenos aledaños de la cárcava, evitando sobre todo su profundización.

Esto puede realizarse con pastos nativos, arbustos y algunos árboles mayores que se adapten a las condiciones climáticas del lugar. Es muy importante controlar el pastoreo de animales en dichas áreas.

4.3. Control de torrentes y huaicos

El tratamiento y control de los flujos torrenciales como huaicos, aluviones y otros, requiere de la aplicación, de manera integral, de un conjunto de medidas en todo el ámbito de la cuenca del torrente. Es decir, desde donde se produce el impacto de la gota de lluvia y se inicia la arroyada, hasta donde se emplazan y distribuyen los materiales producto de la acción del torrente.

Parte de las medidas han sido ya tratadas en los acápite anteriores, los mismos que se aplican en las partes altas donde se inicia el fenómeno. Es necesario, también, implementar las medidas a lo largo del cauce principal o canal de escurrimiento a fin de regular el desplazamiento del flujo y evitando que éste alcance magnitudes catastróficas, muy perjudiciales para las instalaciones emplazadas en las partes medias y bajas del torrente.

Para el tratamiento y control de torrentes o huaicos es necesario implementar medidas complementarias a las ya descritas anteriormente como:

4.3.1 Protección y estabilización de taludes

A lo largo del canal del torrente se constituyen taludes verticales fuertemente inclinados, cuando el flujo profundiza el cauce erosionando los materiales de fondo, dejando los taludes desprotegidos e inestables, muy vulnerables a la acción de los flujos hídricos, o a las vibraciones



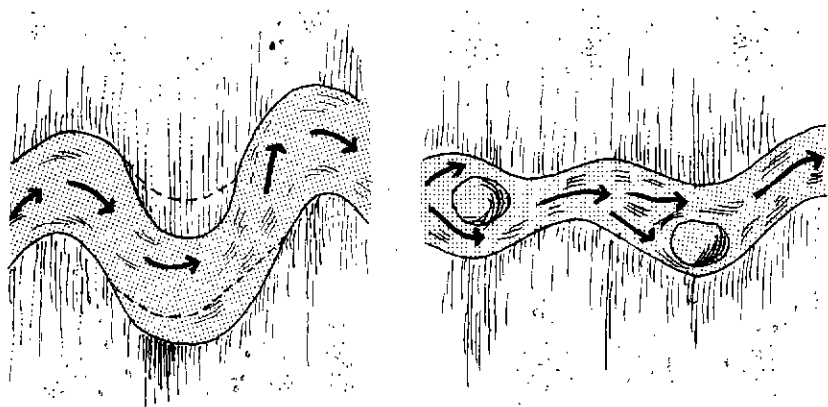
Muro de piedra que sirve para dar estabilidad a una ladera. Valle del Rímac.

sísmicas. Frente a estos casos se requiere dar protección a dichos taludes mediante la construcción de muros laterales que pueden ser hechos de piedras (a modo de pircas) o muros ciclópeos (con piedra y cemento).

4.3.2 Corrección y limpieza del cauce

Las fuertes curvaturas que describe el canal de desfogue del huaco y los grandes bloques rocosos que se encuentran en el fondo del cauce dificultan el normal escurrimiento del flujo e incrementan su capacidad

de erosión lateral, los terrenos aledaños son afectados y los materiales que se desprenden se incluyen en la masa del flujo.



Corrección de curvaturas: Esquema de corrección del cauce sinuoso de una torrentera. Derecha, limpieza del cauce en una torrentera.

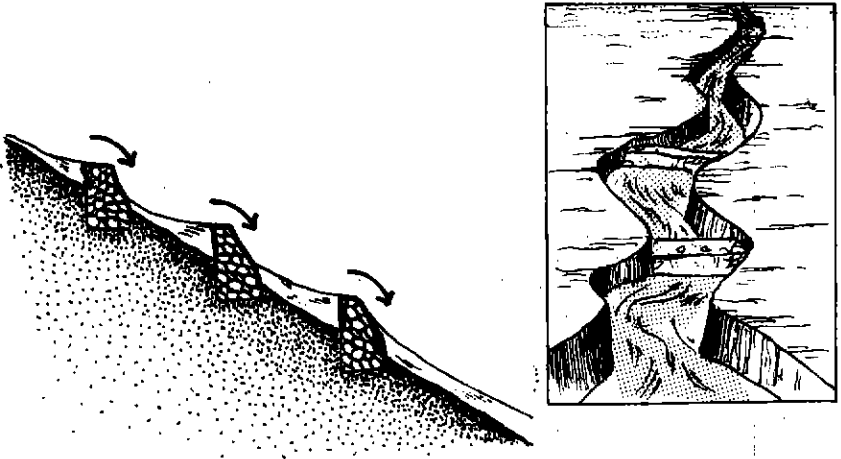
Quando el caudal del huaico es mayor y supera la capacidad del canal, se desborda con facilidad y se emplaza sobre terrenos no afectables directamente. Es más peligroso aún cuando el flujo se represa momentáneamente y al desembalsarse violentamente, alcanza magnitudes catastróficas. Frente a estas situaciones, es necesario practicar las medidas de corrección de cauce, mediante el desbroce de los taludes cóncavos, la limpieza del cauce mediante voladura de rocas, etc.

4.3.3. Disipadores de energía del flujo

Consiste en un conjunto de medidas destinadas a contener parcialmente el flujo reduciendo su velocidad y su caudal, y por ende, su energía. Entre estas medidas se pueden señalar:

a) Los saltos hidráulicos

Consisten en pequeños muros de contención que se ubican transversalmente al cauce, en los tramos donde el canal es suficientemente profundo, para evitar un desborde. Dichos muros

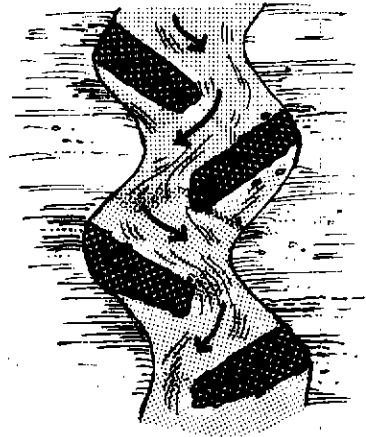


Sección transversal mostrando los saltos hidráulicos mediante muros bajos.

pueden ser contruidos con piedras (pirca), con gaviones o concreto ciclópeo y deben contar con buena cimentación (hasta 2 veces la altura del muro), de manera que soporte la fuerza de empuje y socavación del flujo.

b) *Muros de contención en zig-zag*

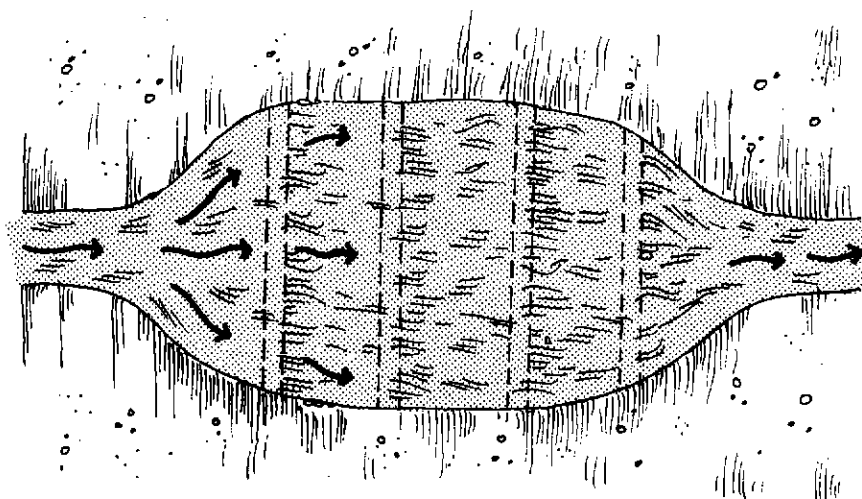
Consisten en muros cortos contruidos transversalmente al canal del huaico en tramos cuyos taludes son suficientemente altos y resistentes a la acción erosiva del flujo. La función de los muros en zig-zag es para retardar el desplazamiento y motivar la sedimentación. Es recomendable la cimentación profunda de dichos muros.



Esquema que ilustra los muros de contención en zig-zag dentro un cauce estable.

c) Pozas de sedimentación

Son depresiones o ensanchamientos del canal de escurrimiento con menor pendiente, que funcionan o pueden acondicionarse para la sedimentación de los materiales que acarrear los flujos torrenciales o huaicos. Esta medida debe actuar combinada con los muros de contención transversal y en zig-zag. Requiere de un mantenimiento constante por la abundante sedimentación y el deterioro a que están sometidos las paredes laterales y muros transversales.



Esquema que muestra la proyección horizontal de una poza de sedimentación que corresponde a una zona de ensanchamiento del cauce.

d) Distribución del flujo por canales de derivación de emergencia

Se trata de canales secundarios que cumplen la función de distribuir la carga de los flujos, a fin de amenguar su volumen, llevándolo ya sea hacia zonas de sedimentación artificial o evacuarlos hacia diversos puntos, de tal manera que no se produzcan trastornos en la dinámica del curso al cual afluyen, además de evitar desbordes en los tramos de poca altura del cauce.

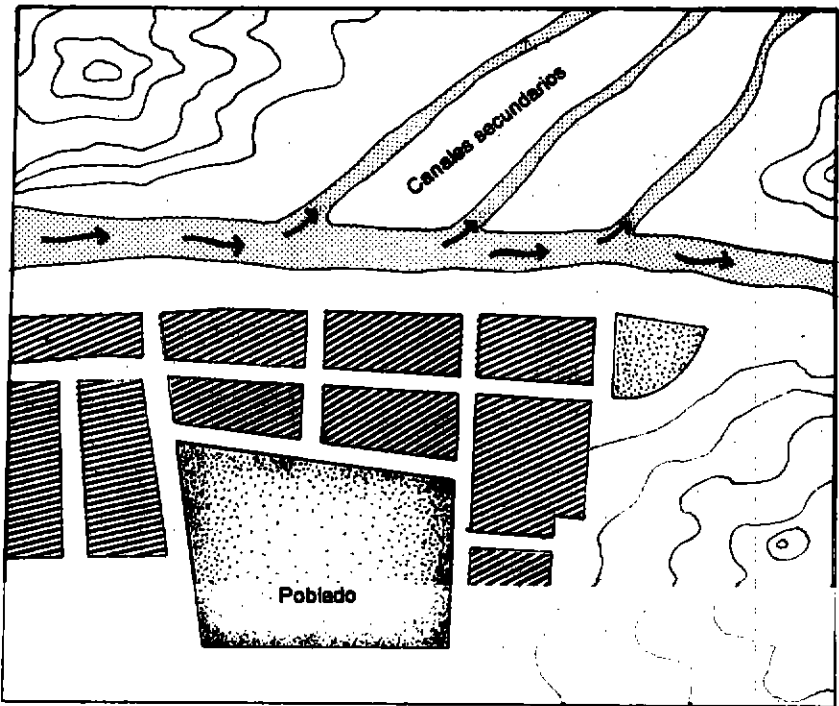


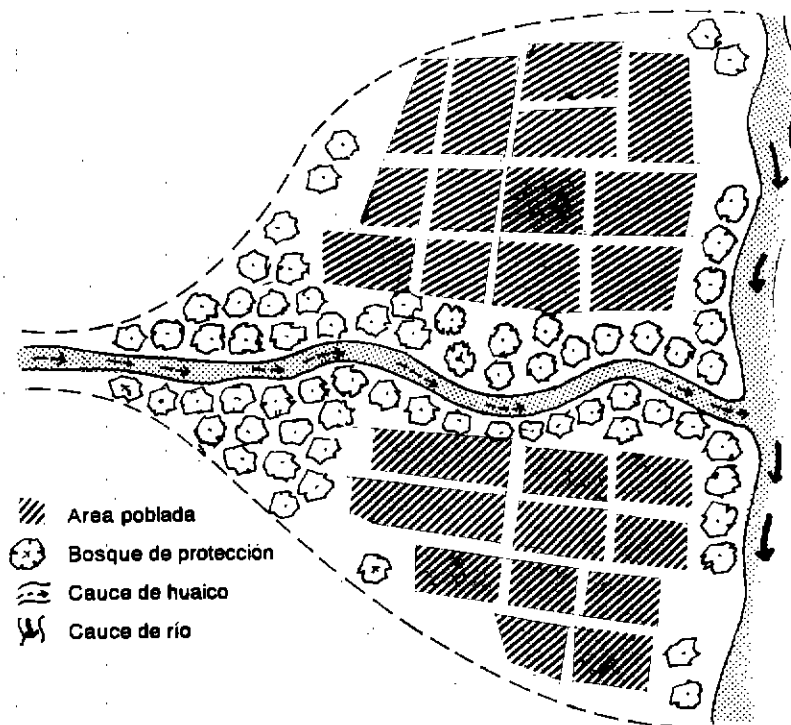
Ilustración de los canales de derivación de emergencia de flujos de huaicos

Para esto, se puede aprovechar canales abandonados por el huaico que no estén poblados ni afecten instalaciones. Si no los hubiere, se tendrían que habilitar canales de derivación de emergencia en concordancia con la morfología del terreno y la dinámica del torrente.

e) *Barreras vivas o bosques de protección*

Cumplen la función de protección de centros poblados u otras infraestructuras instaladas dentro del área de influencia de estos fenómenos. Se tratan de plantaciones de árboles a manera de cercos o barreras en las áreas aledañas al canal del huaico, sobre todo, en la parte frontal de la zona urbana en peligro de tal manera

que el bosque se constituya en una barrera de contención que aminore el impacto de las fracciones o bloques gruesos de la carga del flujo sobre el centro poblado.



Esquema que la medida de bosque de protección o barreras vivas contra huaicos en zonas bajas.

4.3.4 Canalización de los flujos

Consiste en establecer un cauce regular en las torrenteras, con la capacidad suficiente para evacuar sin dificultad los caudales de los flujos de huaicos que se forman en la quebrada.

Esta medida es recomendable para todos los centros poblados emplazados en la zona de influencia de las torrenteras, así como para obras de ingeniería como puentes, carreteras, hidroeléctricas u otras.



Canalización de un torrente en su curso inferior dando protección a la zona cóncava del cauce.

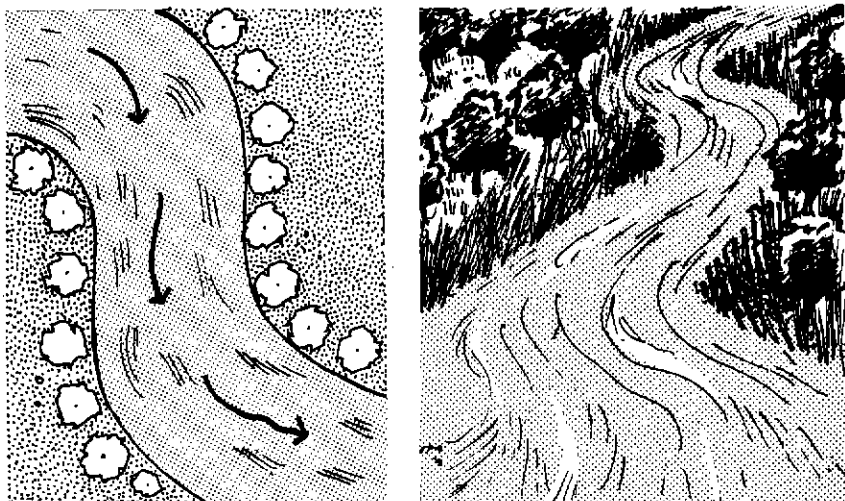
4.4. Control de desbordes, erosión de riberas e inundaciones

Como en los casos anteriores, para establecer las medidas de tratamiento y control de desbordes, erosión de riberas e inundaciones, es necesario tener conocimiento integral de las causas que originan el problema, en este caso se debe analizar toda la cuenca hidrográfica, examinar su comportamiento hidrológico e hidrodinámico, sus variaciones de caudales: máximo y mínimo y, sobre todo, establecer el caudal de diseño (máximo), cuyo periodo de retomo sea mínimo de 100 años. Este caudal, sirve de base para diseñar las obras de infraestructura ribereña como puentes, bocatomas, protección de riberas, etc. Las características de los cursos fluviales y de los terrenos ribereños determinan las medidas técnicas y procedimientos más adecuados para controlar estos fenómenos y condicionan el tiempo de vida útil de las obras.

Entre las principales prácticas que se conocen figuran:

4.4.1 Barreras vivas

Se agrupan aquí a todas aquellas medidas de defensa ribereña que se establecen con especies vegetales como árboles, arbustos, pastos, que cumplen la función de proteger los taludes de la erosión, amenguar la energía e impacto de las aguas en la ribera. Para estos casos se



Medidas de protección de riberas mediante barreras vivas.

utilizan las especies que crecen en terrenos húmedos y tienen buen sistema de fijación por las raíces. Las especies más conocidas son: las cañas o carrizos en todas sus variedades (cañabrava, caña de guayaquil o bambú) y otras especies como el "sauce", "chilco", "pajaro bobo", "yacushimillo", "molle", "eucalipto", etc. La plantación de estas "barreras vivas" se hace en forma longitudinal a lo largo de las riberas en 2 ó más hileras bastante próximas entre sí, respetando el ancho del cauce que alberga caudales máximos de avenidas.

4.4.2 Pequeñas obras hidrotécnicas

Consisten en medidas que se construyen de manera artesanal sin que se requieran conocimientos técnicos especializados, utilizando para esto mayormente los recursos del lugar, abundante mano de obra y

algunos materiales prefabricados. Se les denomina también, medidas temporales o de emergencia debido al limitado tiempo de vida útil que tienen y porque son construidas durante la temporada de emergencia (tiempo en que está presente el fenómeno o crecidas del río); generalmente, representan mucho menor costo que las obras definitivas o permanentes.

a) Los macarrones o tetrápodos

Son obras rústicas que se construyen con troncos atados a manera de una pirámide y que en la base llevan acumuladas piedras en cantidades suficientes para darle la estabilidad requerida. Los troncos generalmente son de sauce o eucalipto. Sirven para



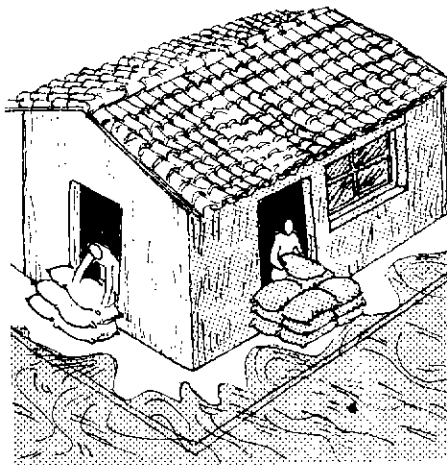
Pobladores construyendo un macarrón en la zona de Carapongo, valle del Rímac.

proteger los taludes ribereños y demás instalaciones ubicadas en ella, también se utiliza para obras de captación (bocatomas).

b) Sacos de arena

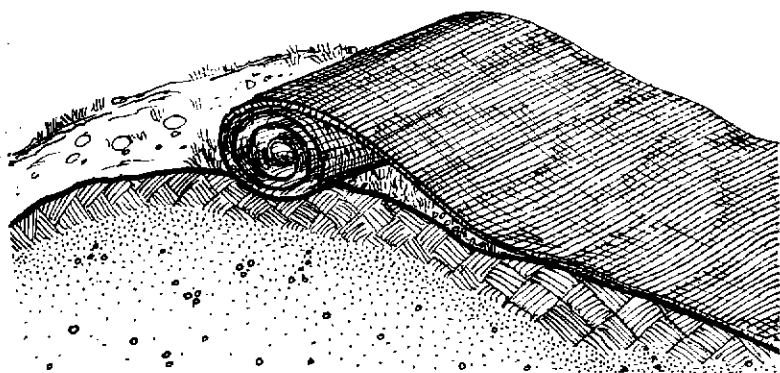
Es otra medida sencilla en la cual se emplean sacos de polietileno u otro material resistente al agua, llenos de tierra o arena y apilados

unos sobre otros formando una barrera que bloquea el ingreso del agua. Esto es utilizado para aumentar la altura de muros de contención, canales de irrigación y en las puertas de viviendas ribereñas bloqueando las entradas para evitar el ingreso del agua hacia los interiores.



c) *Fibra textil "bidim"*

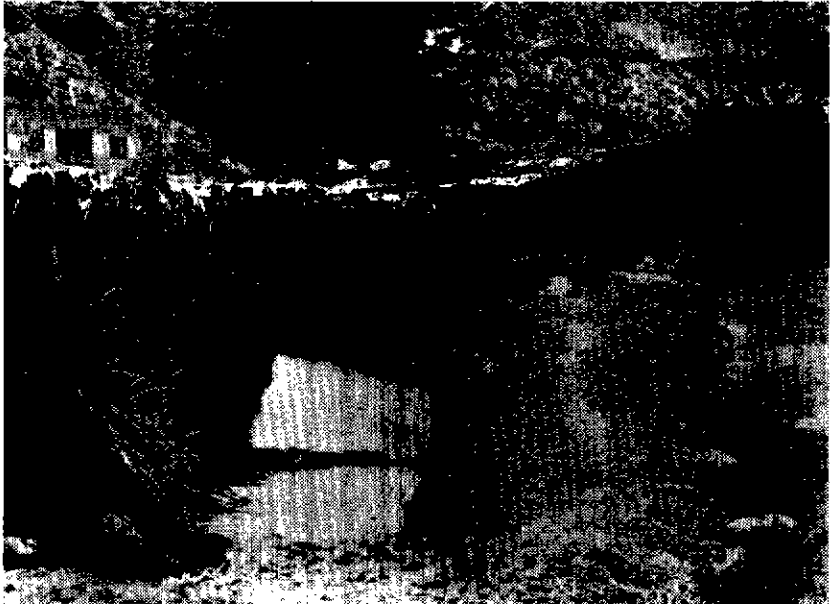
Es una especie de manta de material sintético con la cual se pueden recubrir superficies ribereñas o armar defensas a manera de "cilindros" o "salchichones". Este material por su gran resisten-



cia a la humedad y la textura fina del tejido y impide la erosión de los materiales finos por acción mecánica del agua se le emplea en numerosas obras hidrotécnicas, como presas de tierra, diques, terraplenes, canales, etc., impide la erosión de los materiales finos por acción mecánica del agua.

d) Diques enmallados

Denominados también gaviones, se construyen empleando paños de mallas de alambre galvanizado de tejido simple o electrosoldadas con los cuales se protegen los diques de piedra los cuales



Bloque enmallado o gavión que protege la ribera y evita los desbordes del río Rímac, San Mateo.

adquieren la consistencia de una estructura sólida. El uso de esta práctica es amplio, ya sea para proteger la base de las riberas, a manera de espigones, para desviar las aguas y encauzar sus cursos, así como para estabilizar y proteger taludes ribereños y otros.

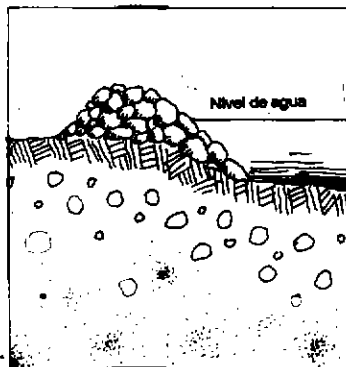
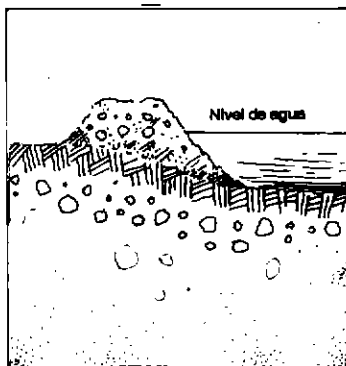
e) Terrapienes

Son las obras que se construyen en los linderos del cauce para elevar la altura de las riberas y evitar el ingreso del agua hacia terrenos bajos. Para esto se emplean materiales del lugar o de

canteras próximas (materiales arcillo-arenosos, grava de río, etc.). Generalmente esta medida se combina con una escollera que protege la cara húmeda que entra en contacto con las aguas para evitar que el agua arrastre los materiales finos.

f) *Pedraplenes o enrocados*

Como su nombre lo indica, estas obras se construyen a base de bloques de rocas o piedra que se acomodan a lo largo del tramo ribereño a proteger, se combinan con materiales finos (tierra) para reducir los espacios libres y evitar la filtración. Su construcción demanda, en muchos casos, el empleo de maquinaria pesada (volquetes, cargadores frontales, tractores) que implica una mayor inversión económica.

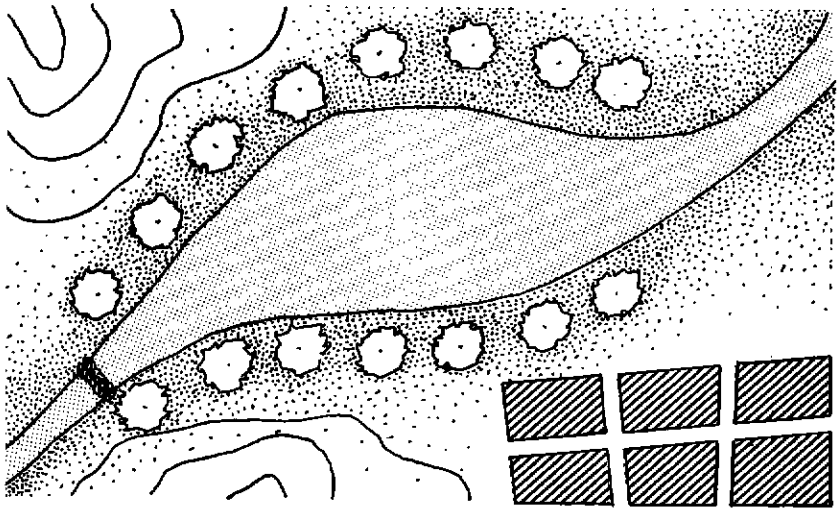


4.4.3 Grandes obras Ingenieriles

Se agrupan aquí un conjunto de métodos de técnicos orientados a reducir los efectos de las inundaciones, ya sea atenuando los caudales máximos mediante embalses o encauzando las aguas en los cursos naturales o a lo largo de cauces artificiales. Consisten en proyectos técnica y científicamente elaborados y que generalmente implican grandes inversiones en su desarrollo.

a) *Métodos de embalses*

Consisten en la construcción de una o varias presas en los cursos medios y superiores de los ríos, con la finalidad de atenuar los

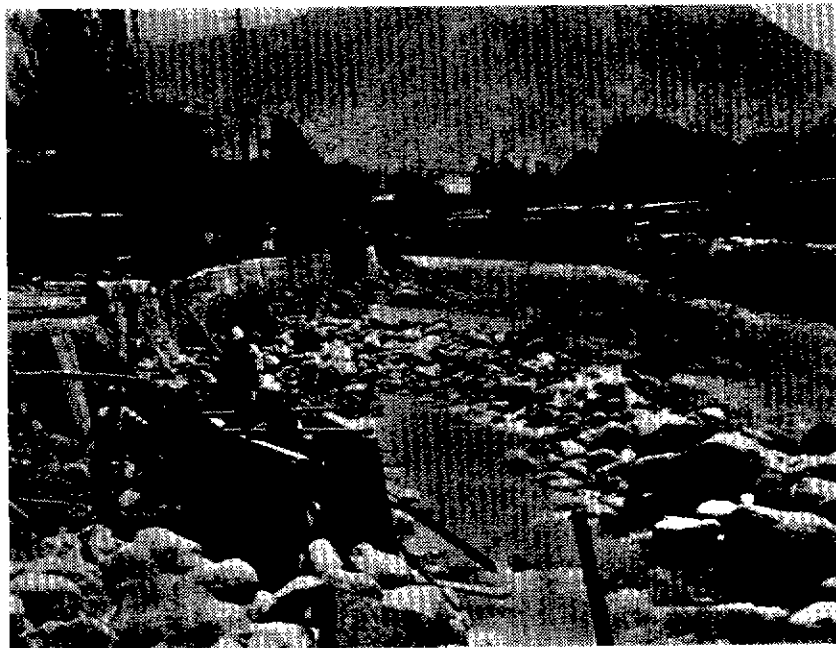


caudales máximos durante las temporadas de crecidas o avenidas, las presas pueden ser hechas de tierra o enrocado con núcleo de arcilla, entre otros. Esta medida suele combinarse con la derivación de los caudales máximos excedentes mediante canales o galerías hacia otros lugares donde no genere riesgo alguno.

b) Métodos de encauzamiento o canalización

Al igual que en el caso anterior, requieren de estudios hidrológicos y geomorfológicos tanto a nivel de cuenca como estudios de mecánica de suelos locales, que garanticen la eficiencia de las obras, así tenemos:

- i) Construcción de diques o muros de defensa en las márgenes del río con la capacidad y resistencia suficiente para soportar los caudales extraordinarios, evitando los desbordes e inundaciones, así como, la erosión de riberas. Estas obras pueden ser de concreto ciclópeo (cemento, grava y piedras), concreto armado (cemento, grava, fierro), losas de concreto, terraplenes protegidos



con una escollera de rocas hacia la parte que entra en contacto con el agua. También se suele combinar con gaviones, con enrocados compuestos esencialmente de bloques de rocas adecuadamente acomodadas sobre una base o núcleo impermeable, etc.

- ii) Excavación de uno o más canales de desviación para aliviar la sobrecarga del río durante la crecida.
- iii) Mejoramiento del cauce del río ya sea dragando o extrayendo los materiales sedimentados en el cauce, ensanchando la sección transversal o regulando la pendiente del lecho para aumentar sus dimensiones y por consiguiente su capacidad para caudales mayores.

Estas prácticas por lo general demandan fuertes inversiones de capital, el empleo de maquinaria (tractores, camiones, volquetes, gruas) y de personal técnico calificado por lo que su implementación, muchas veces, es parcial o quedan inconclusas.

4.5. Tratamiento y control de deslizamientos

Para tratar y controlar la dinámica de los deslizamientos y otros fenómenos de remoción en masa es necesario determinar mediante estudios e investigación:

- La geometría del deslizamiento.
- Su estructura geológica.
- Comportamiento hidrogeológico.
- Su grado de estabilidad.
- Los factores que influyen en la desestabilización de la ladera, etc.

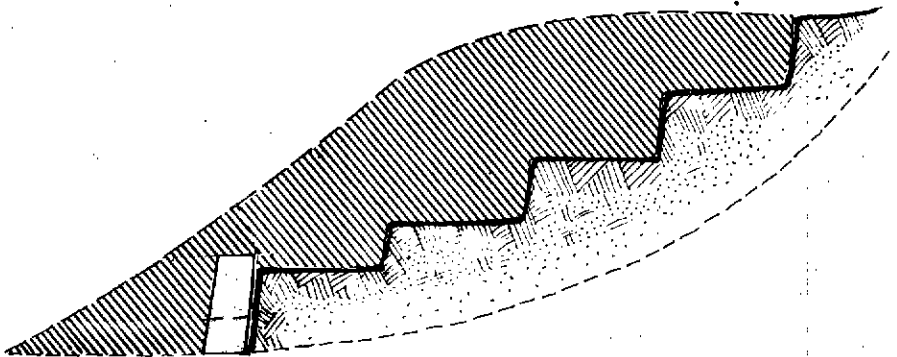
El conocimiento de estos aspectos básicos nos permitirán plantear las medidas correctivas, técnica y económicamente adecuadas.

Como en los casos anteriores, las medidas correctivas deben orientarse, en primer término, a afectar las causas, detener el proceso y mitigar los efectos. Entre las principales medidas señalamos las siguientes:

4.5.1 Tratamiento de la superficie del talud

El cambio de la forma del talud y su pendiente es el modo más natural para su estabilización.

Antiguamente los incas lo hacían mediante pircas o andenerías, logrando un factor de seguridad elevado.



En regla general, lo que se trata es de descargar o desbrozar el talud en la parte superior a fin de restarle peso a la masa deslizante. También se debe desquinchar las partes altas de los taludes que han perdido estabilidad y se encuentran muy propensas a desprenderse y deslizarse pendiente abajo. Se puede reemplazar el material débil al pie del talud con materiales de compactación adecuada.

4.5.2 Estructuras de sostenimiento

Como su nombre lo indica, son estructuras que cumplen la función de sostener la masa deslizante, generalmente son estructuras rígidas de concreto armado, gaviones y otros materiales de similar resistencia



Muro de fortalecimiento de concreto armado y ciclópeo para protección de la línea férrea. Valle del Rímac.

al empuje del deslizamiento. Se ubican en la parte inferior del deslizamiento o en posiciones intermedias a fin de controlar pequeños deslizamientos dentro de una masa deslizante mayor. Se suelen denominar como: contrafuertes, muros de sostenimiento o contención, pilotes aislados o muros de pilotes, etc.

4.5.3 Anciajes

Se emplean en los casos donde no es posible o es muy difícil construir el contrafuerte ya sea por escasez de espacio y/o materiales, etc. Consisten en perforaciones que se practican en la masa deslizante

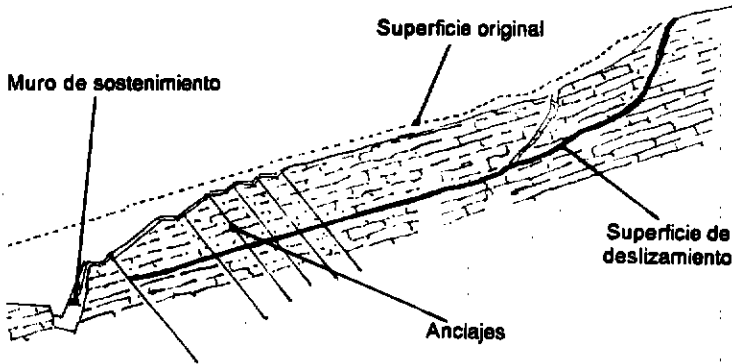


Diagrama mostrando la aplicación de anclajes para estabilizar masas de rocas deslizantes.

hasta llegar a la roca estable donde se incrustan unas barras metálicas, con la finalidad de fijar las materias rocosas inestables propensas a deslizarse. Pueden ser de barras simples o pretensados. El área de acción de un anclaje es pequeño. La ubicación de los anclajes requiere del conocimiento real y profundo de las características y comportamiento de las rocas donde se fijan los anclajes.

4.5.4 Otras medidas

Otras medidas que sin duda influyen de manera significativa a mantener la estabilidad de los taludes naturales son:

- Reducción y control de la infiltración de las aguas en los terrenos escarpados propensos a deslizamientos. Esto puede llevarse a cabo mediante la impermeabilización y/o reubicación de canales

de riego, mejoramiento en el sistema de riego, sellado de grietas en las partes superiores de los terrenos en laderas, el drenaje de exceso de agua contenida en la masa deslizante mediante galerías filtrantes, tuberías y canales a fin de bajar el nivel del agua subterránea y aumentar la fricción en la superficie de la falla.

- Construcción de muros secos o pircas, gaviones que ayudan a conservar la forma del talud, sembrío de árboles de raíces profundas en las masas deslizantes de poca profundidad. Estos servirán a la vez como indicadores del movimiento que pueden experimentar los terrenos.

4.6. Control de derrumbes y desprendimiento de rocas

Las medidas para estos fenómenos depende entre otros factores del tipo de roca, del grado y carácter de las fracturas, la pendiente y altura de los terrenos escarpados, la amplitud que abarcan tales fenómenos y las condiciones en las que ocurren. Entre las principales medidas se puede señalar:

- Muros de contención —que pueden ser de concreto, de albanilería simple, pircas, gaviones, etc.
- Apuntalamiento con troncos de madera, barras de metal, etc.
- Anclajes de pernos de acero en la roca maciza.
- Revestimiento protector o aplicación de gunita con mallas de alambre e inyectando concreto (sobre todo en rocas de gran alterabilidad).

Plantaciones de árboles, arbustos y pastos en las vertientes y al pie de los taludes a fin de dar protección a las instalaciones, ubicadas muy cerca a estos fenómenos.

ANEXOS

Glosario

- **ACANTILADO:** Escarpe muy acentuado de un terreno cualquiera. Pendiente escarpada de una costa que retrocede bajo los ataques de la rompiente.
- **ACUIFERO:** Que tiene agua. Dícese de los materiales rocosos que contienen agua en su interior y que pueden ser explotados.
- **AFORO:** Acción de aforar. Determinar la cantidad de agua que lleva una corriente en una unidad de tiempo.
- **AGROSTOLOGICO:** Relativo al cultivo y manejo de pastos naturales.
- **ALUVIAL:** Relativo o perteneciente a los aluviones.
- **ALUVION:** Depósito de fracciones de roca transportada por las aguas corrientes.
- **ANTROPICO:** Dícese de las modificaciones o cambios provocados directa o indirectamente por el hombre sobre el medio natural donde se desarrolla.
- **AVENIDA:** Riada. Crecida impetuosa de un río.
- **CALCAREO:** Que tiene cal. Dícese del material rocoso que tiene cal en su composición.

- **CALIZA:** Roca sedimentaria, constituida por carbonato de calcio. Produce efervescencia en contacto con los ácidos.
- **CANTERA:** Lugar de donde se extraen los materiales para construcción y otras obras (de piedra, cal, yeso, etc.)
- **CARCAVA:** Zanja excavada en sedimentos no consolidados en las laderas por acción de las aguas de lluvias que escurren por la superficie.
- **CATASTROFICO:** Acontecimiento muy grave, generalmente imprevisto.
- **CAUDAL:** Cantidad de agua que lleva un río en un momento determinado. Se mide en metros cúbicos por segundo (m^3/seg) o en litros por segundo (lts/seg), etc.
- **CICLON:** Huracán que se traslada girando con extrema velocidad.
- **COBERTURA:** Cubierta, cara que cubre o protege a otra. (ejemplo: Vegetación que cubre y protege el suelo).
- **COLMATACION:** Acción y efecto de colmatar, llenar hasta el borde. Sedimentación excesiva en los cauces fluviales u otros.
- **CONSERVACION:** Acción y efecto de conservar. Estado de lo que se conserva. Ejemplo: conservación de suelos.
- **CURSO:** Dirección, movimiento de las aguas.
- **CHORRERA:** Paraje por donde chorrea un líquido y señal que deja al chorrear.
- **CHUBASCO:** Chaparrón, aguacero, lluvia impetuosa. Precipitación de gran intensidad y corta duración, suele ocurrir acompañado de vientos.
- **DEFORESTACION:** Destrucción de los bosques.
- **DESASTRE:** Calamidad, catástrofe. Daño o efecto negativo que deja la ocurrencia de un fenómeno, natural o inducido, sobre una situación vulnerable.

- **DESERTIFICACION:** Es el avance del desierto sobre áreas de cultivo, bosques fronterizos, debido a la ruptura de equilibrio bioecológico y climático, generados principalmente por la acción antrópica (sobrepastoreo, técnicas inapropiadas en el manejo de los suelos, deforestación irracional, etc.)
- **DESPLOME:** Acción de desplomar. Perder la posición vertical. Venirse abajo.
- **DETRITICO:** Compuesto de detritos o residuos de fragmentos de rocas producto de la meteorización de la roca.
- **DINAMICA:** Fuerza, movimiento, cambio.
- **DISPERSAR:** Diseminar, apartar lo que estaba unido.
- **DRENAJE:** Galicismo empleado por avenamiento. Se refiere al escurrimiento de los fluidos a través de una superficie o cuerpo dado.
- **ECOLOGIA:** Ciencia que estudia la relación de los seres vivos y el medio natural. Defensa de la naturaleza. Protección del medio ambiente.
- **ECOSISTEMA:** Sistema constituido por los seres vivos existentes en un lugar determinado y el medio natural que le es propio.
- **EDAFOLOGIA:** Ciencia que se ocupa del estudio del suelo, en formación, estructura, etc.
- **EMERGENCIA:** Acción de emerger, lo que acontece cuando en la combinación de factores conocidos, surge un fenómeno que no se esperaba.
- **EMPOZAR:** Depositar, encharcar el agua en una superficie dada.
- **EROSION:** Desgaste o destrucción producido por algún agente físico, químico o biológico.
- **ESCORRENTIA:** Movimiento de las aguas continentales por efecto de la gravedad, que tiene lugar a lo largo de cauces excavados en la superficie del terreno.

- **ESTRUCTURA:** Disposición espacial de las rocas que conforman un relieve.
- **EVAPOTRANSPIRACION:** Todas las modalidades de evaporación del agua en la superficie terrestre.
- **FENOMENO:** Todo lo que puede ser percibido por los sentidos o por la conciencia. Hecho natural que hiere a la imaginación.
- **FLUJOS:** Movimiento de los fluidos.
- **FLUVIAL:** Perteneciente o relativo a los ríos.
- **FORESTACION:** Repoblación forestal.
- **FORESTAL:** Relativo a los bosques.
- **FRACTURA:** Grieta del terreno producida por esfuerzos tectónicos.
- **FREATICO:** Aplícase a las aguas acumuladas en el subsuelo.
- **FRIABLE:** Dícese del mineral o de la roca que se desmenuza fácilmente.
- **FUNDACION:** Acción y efecto de fundar, cimiento de obra.
- **FUNDAR:** Edificar materialmente.
- **GAVION:** Cestón lleno de piedras, hecho con mallas metálicas que se usa para defensa ribereña y estabilización de taludes.
- **GEODINAMICO:** Conjunto de movimientos, fuerza o cambios que ocurren en la corteza terrestre. Puede ser de origen interno o externo.
- **GEOFORMA:** Dícese de la forma que adopta la superficie terrestre o parte de ella.
- **HIDRODINAMICO:** Se refiere al movimiento, el peso de la fuerza y el equilibrio de los líquidos, así como la acción desarrollada por el agua.
- **HIDROGEOLOGIA:** Parte de la geología que estudia el agua contenida en las rocas y materiales del subsuelo.

- **HIDROLOGIA:** Ciencia natural que trata de las aguas sobre y bajo la superficie de la tierra.
- **HIDROSFERA:** Parte líquida de la corteza terrestre, comprende los mares y océanos, así como las aguas interiores, la nieve y el hielo.
- **INANICION:** Debilidad causada por el hambre o por otras causas.
- **INCOHERENTE:** No coherente, que carece de cohesión.
- **INDISCRIMINADA:** No diferenciada.
- **INFILTRACION:** Paso lento de un líquido a través de los poros del suelo y rocas.
- **INTERACCION:** Influencia recíproca.
- **LADERA:** Declive o pendiente de un monte o ribera de un río.
- **LIMNIGRAFO:** Instrumento que se utiliza para registrar gráficamente la altura de las aguas en un cauce definido y con ello determinar el caudal.
- **LIMO:** Sedimento fino, llamado también barro, cieno o fango.
- **LLANURA:** Superficie de terreno llano, calidad de llano.
- **MAGMA:** Flujo de rocas incandescentes (a más de 1000° C) que se encuentra en zonas más profundas debajo de la corteza terrestre.
- **MAGNITUD:** Tamaño de un cuerpo, importancia, cantidad.
- **MAREMOTO:** Tsunami, agitación violenta y brusca del mar a consecuencia de una sacudida del fondo.
- **MEDIDA:** Disposición, prevención. Acción orientada al tratamiento o control de un fenómeno geodinámico.
- **METEORIZACION:** Destrucción de las rocas y minerales por acción de agentes meteóricos como: el agua, el aire, el sol; puede ser física, química o biológica.
- **MINERALOGICO:** Relativo o perteneciente a los minerales.

- **MITIGAR:** Paliar, moderar, disminuir los efectos de los fenómenos geodinámicos.
- **MODELADO:** Conjunto de formas del relieve que son características de un proceso de erosión particular.
- **MONITOREO:** Proceso de observación y seguimiento del desarrollo de un fenómeno. Puede ser directo o indirecto.
- **MORFOLOGICO:** Relativo a la morfología, a las formas de los cuerpos.
- **PELIGRO:** Acontecimiento natural o inducido de un fenómeno que altera una condición y puede causar daño.
- **PELIGROSIDAD:** Calidad de peligroso, que tiene peligro.
- **PETROGRAFICO:** Relativo a la petrografía.
- **PETROGRAFIA:** Estudio y descripción de las rocas.
- **PREARIO:** De poca estabilidad, inseguro.
- **PRESA:** Obra para embalsar un curso de agua en un valle.
- **PREVENCION:** Acción y efecto de prevenir. Preparación, disposición que se toma para evitar algún peligro.
- **PRIMIGENIO:** relieve primitivo, originario.
- **PROLUVIALES:** Dícese de los depósitos acumulados por los torrentes en el fondo de su lecho y desembocadura.
- **REGENERACION:** Acción y efecto de regenerar. Reproducir lo que estaba destruido.
- **REFORESTACION:** Repoblación o reposición forestal.
- **REPRESA:** Acción de represar. Estancamiento o detención del agua corriente por un obstáculo.
- **REMOCION:** Acción de remover. Cambiar de sitio una cosa. Movilización de roca o sedimentos por un agente geológico bajo la acción de la gravedad.

- **RIACHUELO:** Río pequeño de poca capacidad. Arroyuelo.
- **RIADA:** Avenida, aluvión, crecida del río.
- **RIESGO:** Condición futura que implica estar a punto de sufrir un contratiempo o daño a consecuencia de un acontecimiento peligroso.
- **RIGUROSIDAD:** Calidad de riguroso. Nivel de exigencia a cumplir con ciertas normas.
- **SOBREPASTOREO:** Pastoreo del ganado excediendo la capacidad de los pastos o de los terrenos dispuestos para dicho fin.
- **SOCAVACION:** Acción y efecto de socavar. Excavación producida por las aguas al pie de las escarpas, acantilados y márgenes.
- **SUBSTRATO:** Terreno que queda bajo una capa superpuesta.
- **SUMIDERO:** Conducto o agujero por donde se sumen las aguas.
- **TALUD:** Declive o inclinación de un muro o del terreno.
- **TECTONICA:** Relativo a la estructura de la corteza terrestre. Parte de la geología que trata dicha estructura.
- **TERRAZA:** Rellano, frecuentemente cubierto de depósitos fluviales. Terreno cultivable sobre una ladera retenida por un muro pequeño.
- **TERREMOTO:** Sacudimiento violento del terreno en una gran extensión a consecuencia de un sismo.
- **TORRENCIAL:** Que parece un torrente, sumamente violento.
- **TORRENTE:** Corriente de agua rápida, impetuosa que se desplaza a lo largo de un cauce.
- **TORRENTERA:** Cauce o lecho de un torrente.
- **TRAVERTINO:** Depósitos calcáreos que se acumulan en los manantiales o depresiones por la precipitación de los carbonatos contenidos en las aguas.

- **VALLE:** Formas de relieve mas o menos llanos entre otras más altos, de tamaño y aspecto variables, ocupado por ríos, glaciares, permanentes o transitorios.
- **VERTIENTES:** Pendiente por donde corren o pueden correr las aguas pluviales hasta los valles.
- **VULNERABLE:** Defectuoso, débil, indefenso, que puede ser afectado o perjudicado por una circunstancia o fenómeno cualquiera.
- **VULNERABILIDAD:** Calidad de vulnerable. Es la probabilidad de sufrir el daño o ser afectado por un acontecimiento natural o inducido por el hombre.
- **ZAPA:** Fenómeno de destrucción de un relieve por socavación de su base, es frecuente en los acantilados que lindan con corrientes de agua.

Referencias bibliográficas

• **ANGUITA V.F., MORENO S.F.**

1985 "*Geología - Procesos Externos*" Editorial Luis Vives—
Zaragoza

• **BENITES CH., C**

1977 "*Estudio de Parámetros Geomorfológicos de una Cuenca.*" Boletín Técnico No.2. DGA. Ministerio de Agricultura - Lima, Perú.

1977 "*Defensas Ribereñas*" - Ponencia. II Seminario Técnico-Científico de Defensa Civil- Lima.

1978 "*Guía para el Estudio General de una Cuenca.*" Boletín Técnico No.1. D.G.A. Ministerio de Agricultura - Lima, Perú.

• **BERTOLINI J., C.**

1982 "*Descripción y Clasificación de los movimientos de masa en las Barrancas Entrerrianas del Río Parana, República de Argentina.*" - Ponencia -Quinto Congreso Latinoamericano de Geología - Argentina.

▪ **DAVILA B.,S.**

1977 *"Mecánica e incidencia de los Deslizamientos"* - Ponencia-II Seminario Técnico-Científico de Defensa Civil - Lima.

1984 *"Metodología de estudios geodinámicos y geotécnicos de cuencas hidrográficas en prevención de desastres"* - Ponencia - I Seminario de Desastres Naturales: Geología, Causas y Prevenciones. C.I.P. Lima.

▪ **DOUROJEANNI, M.**

1973 *"La destrucción de la flora y la formación de deslizamientos, huaicos e inundaciones en la Sierra Central del Perú"* - Artículo - Revista "El Serrano" No.282.

▪ **EARTHSCAN**

1984 *"Desastres Naturales :Causas de la pérdida de tierras"* - Boletín Técnico FAO/PNUMA.

▪ **GONZALES B., TERUGGI**

1960 *"Léxico Sedimentológico"* Buenos Aires.

▪ **GORSHKOV, YAKUSHOVA**

1977 *"Geología General"* Editorial MIR.

▪ **IBAÑEZ S., M.**

1983 *"Glosario de Geografía Física General"* Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

▪ **INGEMMET**

1983 *"Estudio de seguridad física de las grandes obras de ingeniería en el valle del río Rímac"*

• JAROSLAV, H.

1970 "Erosión en cárcavas" - Segunda Parte Serie Oriente - Academia de Ciencias de Cuba.

• KRININE

1961 "Principios de Geología y Geotécnica para Ingenieros". Editorial Omega

• MARTINEZ V., J.A.

1972 "Modelo de estudio geotécnico básico de los huaycos, aluviones, alud-aluviones e inundaciones". Ediciones UNI: Lima.

1980 "Los Huaycos y Aluviones una realidad nacional aún no comprendida". Folleto Publicación C.U.E.G.- Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

• MEDINA R., J.— SALAZAR, L.

1984 "Estudio técnico preliminar sobre la seguridad física del Asentamiento Humano Municipal de Huaycan". Estudio de Riesgo. Predes - Lima.

• MEDINA R., J.— MENOCA S., A.

(inédito) "El papel de la ingeniería geológica en el campo de la prevención de desastres". Lima.

• MEDINA R., J.

1988 "Geodinámica y riesgos de desastres en el curso inferior del valle Rímac". - Ponencia -II Seminario Desastres Naturales, Geología Causas y Prevenciones. CIG - CIP - Lima.

• MENDIVIL , S.

1980 "*Procesos Sedimentarios*" - Apuntes de Cátedra Sedimentología - Geología. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

• NOVOSAD. S.

1986 "*Deslizamiento de taludes naturales*" Curso Seminario - Centro de capacitación permanente en ingeniería. C.I.P. Lima

• PANIUKOV

1977 "*Geología aplicada a la ingeniería*" Editorial MIR.

• PREDES

1984 "*Estudio de seguridad física contra huaicos desbordes y deslizamientos: Distrito de San Jerónimo de Surco, Provincia de Huarochiri. Dpto. de Lima.*" Serie - Estudio de Riesgo - N° 5

1986 "*Metodología para el estudio y la prevención de desastres por huaicos en la cuenca del río Rimac*". Ponencia- "Seminario Regional de Investigaciones Ecológicas en la Sierra Central" IRINEA -Huancayo.

• RICE

1983 "*Fundamentos de Geomorfología*"

• RIODUERO

S/F Diccionario de Geología y Mineralogía.

• TAYPE R.,V.

1977 "*Fenómenos de geodinámica externa, clasificación -Ponencia. II Seminario Técnico Científico de Defensa Civil*" - Lima.

1979 *"Los desastres como problema de la defensa civil"*.
Boletín Soc. Geológica del Perú. Tomo 61.

▪ **THORNBURY W.**

1960 *"Principios de Geomorfología"* Editorial Kapeluz
Argentina.

▪ **UNDRO**

1976 *"Prevención y Mitigación de Desastres"* Compendio de
los conocimientos actuales - Vol. 1.- Aspectos
Hidrológicos.

1976 *"Prevención y Mitigación de Desastres Compendio de
los conocimientos actuales"* - Vol. 5. - Aspectos
relacionados con el aprovechamiento territorial.

CUADRO Nº 2

CALIFICACION GEOTECNICA DE ROCAS Y SUELOS SEGUN SUS PROPIEDADES

PROPIEDAD	RANGO O INTENSIDAD	CALIFICATIVO	IDENTIFICACION	CALIDAD GEOTECNICA
ALTERACION	0-25%	Sin alteración evidente (A1)	Minerales brillosos, frescos, buena resistencia la golpe	Excelente para cimientos y como material de construcción.
	20-25%	Algo alterada (A2)	Minerales sin brillo opacos. Color original oculto por alteración. Se rompe con relativa facilidad al golpe.	Buena para cimientos. Requiere limpiar
	50-75%	ALTERADA (A3)	Los minerales se presentan pulverulentos y sin brillo. Se rompe fácilmente al golpe.	Regular requiere limpiar parte alterada.
	75-100%	DESCOMPUESTA (A4)	Los minerales presentan alto grado de alteración fisico-quimico. Formación incipiente de suelo. La estructura de la roca se preserva.	Mala para la construcción para fundar poner pilotes.
	100%	SUELO (A5)	Alteración total de la roca. No se distingue estructura de la roca. Nuevos minerales y otro color como producto de alteración.	Mala, descartar para fundar requiere pilotes o cimiento profundo.
FRACTURA (Espaciamento de fracturas)	> 3m	(F1) MACIZA	Fracturas bastante espaciadas entre si (más de 3 mt.)	Excelente para fundación de obras.
	3-1m	(F2) POCO FRACTURADA	Fracturas espaciadas a veces no distinguibles.	BUENA
	1.00-0.30	(F3) MEDIANAMENTE FRACTURADA	Espaciamiento regular entre fracturas.	BUENA
	0.30-0.05M	(F4) MUY FRACTURADA	Fracturas muy próximas entre si. Se separan en bloques tabulares.	Regular a mala. Requiere limpiar material fragmentado.
	< 0.05m	(F5) FRAGMENTADA	La roca se muestra astillosa y se separan lascas con facilidad.	Mal a pésima descartar uso o limpiar y estabilizar ladera.
COHERENCIA	C1	QUEBRADIZO	Se quiebra con cierta facilidad al golpe de martillo. Deja bordes cortantes.	Buena para fundación.
	C2	ALGO QUEBRADIZO	Se quiebra con facilidad al golpe de martillo	Buena a regular para fundación.
	C3	FRAGIL	Puede ser quebrado por presión de los dedos.	Muy malo para fundación y construcción.
	C4	DELEZNABLE	Se pulveriza al golpe del martillo. Se deshace con la presión de los dedos	Muy malo.
CONSISTENCIA DE SUELOS COHESIVOS FINOS (Arcilla-Limo)	MENOS DE 20	MUY BLANDA	Se escurre entre los dedos cuando se aprieta con el puño. Puede aplastarse varios centímetros.	PESIMA
	20-40	BLANDA	Fácilmente moldeable con los dedos.	MALA
	40-75	FIRME	Puede ser moldeado con presión fuerte de los dedos.	REGULAR-MALA
	75-150	RIGIDO	No puede ser moldeado con los dedos sólo con la uña.	REGULAR-BUENA
MAS DE 150	MUY RIGIDO, DURO	Muy resistente no se aplasta con la uña. Hasta quebradizo.	BUENA	
DENSIDAD RELATIVA O GRADO DE COMPACTACION NO COHESIVOS (Limo, Arena fina)	0.00-0.20	MUY SUELTA	Son fácilmente lavados por el agua o removidos por el viento.	MALA
	0.20-0.40	SUELTA	Se disgrega ante la menor presión de los dedos.	MALA
	0.40-0.70	MEDIANAMENTE COMPACTO	Requiere fuerte presión para disgregarse con los dedos.	REGULAR
	0.70-0.90	COMPACTO	Requiere fuerte presión con el martillo para disgregarse.	BUENA
	0.90-1.00	MUY COMPACTO	No se disgrega al golpe del martillo.	EXELENTE

CUADRO Nº 3

CARACTERISTICAS DE LOS COMPONENTES DEL SUELO

COMPONENTE	RASGOS CARACTERISTICOS	PREPIEDADES GEOTECNICAS	USOS
GRAVA—SUELO GRAVOSO	Piedras o pedazos de roca redondeados de diferente tamaño (como de una pelota o un grano de maíz). Puede estar mezclado con arena, limo o arcilla en menor proporción.	No tiene cohesión ni plasticidad es estable para cimientos y rellenos. Son más estables cuanto más heterogéneo sea el tamaño y la formación de los componentes. Son altamente permeables.	Fundación de obras de drenes, filtros, materias de construcción.
ARENA—SUELO ARENOSO	Granos sueltos de tamaño comprendido entre 2mm. y 1/16mm. parecido al azúcar. Se distingue claramente de los granos individuales sin plasticidad ni cohesión. Cuando está seca no es posible moldearla con las manos, es áspera. Puede estar mezclada con gravas, limos, arcilla.	*Las arenas homogéneas y sueltas se densifican y asientan con vibraciones sísmicas y el propio peso de la estructura que soportan. *Cuando se saturan de agua puede fluir fácilmente y pierden su capacidad portante.	Como material de construcción. Drenes y filtros mezclados con gravas.
LIMO—SUELO LIMOSO	Granillos escasamente visibles muy pequeños, rechina entre los dientes. Sin o con escasa plasticidad puede tener cohesión, el moldeo con las manos es fácilmente aplastado, no forma cintas. Debe cuidarse en distinguir de arena fina y arcilla.	*Son estables en el estado seco. *Sus propiedades físicas cambian según el contenido de agua. Se vuelven "movedizos" al saturarse de agua. *Son muy susceptibles a la acción de las heladas. Son relativamente impermeables difícil de compactar.	Como material impermeable y de ligazón.
ARCILLA—SUELO ARCILLOSO	Partículas invisibles más finas que limo, cohesivo de alta plasticidad cuando está mojada. Al ser apretada entre los dedos forma una cinta larga delgada y flexible cuando está seca es dura, difícil de romper con las manos. Es impermeable.	*Son plásticas, oponen poca resistencia a la deformación cuando están húmedos. *Sufren grandes cambios de volumen cuando cambia su contenido de agua. *Tienen elevada compresibilidad y de regular a deficiente resistencia al corte.	Para impermeabilizar canales como material de ligazón.
TURBA—SUELO ORGANICO	Materia orgánica, descompuesta. Usualmente de color oscuro o negro. Tiene mal olor, se encuentra como depósito de pantanos o ciénagas. Puede estar mezclado con arena fina. Limo o arcilla.	*Son esponjosas. *Hay tendencia a crear oquedades por putrefacción y a cambiar sus características físicas por alteración. Son altamente compresibles.	Descartado. Malo para fundación y como material de construcción.

CUADRO N° 1

FENOMENOS GEODINAMICOS—IDENTIFICACION DE CAMPO

TIPO DE FENOMENO	AMBITO	MECANISMO	RASGOS CARACTERISTICOS
DESPLAZAMIENTO DE ROCAS DESPLAZAMIENTOS DE TIERRAS	<ul style="list-style-type: none"> • Laderas muy abruptas de rocas en capas inclinadas, rocas fracturadas. • Laderas de montañas, acantilados marinos, escarpes ribereños, constituidos por materiales sueltos o inconsolidados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desplazamiento lento de losas rocosas a lo largo de los planos rocosos. Pueden ser rápidos. • Desplazamiento lento de terrenos a lo largo de superficies curvadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Capas rocosas inclinadas en favor de la pendiente del terreno. • Grietas semicirculares y escarpes en la superficie. • Árboles con troncos torcidos. • Surgencia de agua en la base de las laderas. • Cercos y caminos desplazados. • Paredes agrietadas, etc.
DERRUMBE Y DESPRENDIMIENTO DE ROCAS	<ul style="list-style-type: none"> • Laderas inclinadas, escarpas o acantilados de rocas muy fracturadas o suelos inconsolidados e inestables. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desplazamiento violento de rocas o suelo de modo caótico con bastante ruido. 	<ul style="list-style-type: none"> • Terrenos escarpados con escombros rocosos al pie del talud en forma de conos. • Cambio de pendiente del terreno. • Taludes rocosos verticales con cornisas en rocas fracturadas.
HUNDIMIENTOS Y SUMIDEROS	<ul style="list-style-type: none"> • Rocas fracturadas y solubles. (calizas travertinos, etc.). • Zona de manantiales, lecho de riachuelos y, • Lagunas cordilleras o en valles profundos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Infiltración de aguas de lluvias y riachuelos con sustancias ácidas a través de fracturas y poros de la roca. • Precipitación del carbonato en las riberas, lecho de ríos y manantiales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Depresiones circulares en la superficie. • Cavidades en la superficie rocosa con aspecto ruiforme. • Disminución y/o desaparición del caudal de los cursos de agua. • Surgencia de agua en manantiales fríos o calientes.
FLUJOS TORRENCIALES HUAICOS ALUVIONES	<ul style="list-style-type: none"> • Quebradas o torrenteras afluentes de un río con escasa cobertura vegetal y signos de intensa erosión de terrenos con fuerte inclinación en la parte media superior. • Torrenteras relacionadas con lagunas o nevados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación de lluvia intensa y erosión de suelos. • Concentración de arroyos en el cauce principal. • Flujo de lodo violento con gran energía que destruye todo su desplazamiento. • Acumulación de lodo y piedras en llanuras. • Fusión violenta de nieve. • Desborde y/o desembalse de lagunas cordilleras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Quebradas o depresiones topográficas en estado de abandono sin cobertura vegetal, fuertes pendientes. • Canal de fondo con huellas de flujos cubierta de lodo y piedras a lo largo del canal. • Desembocadura o afluencia de quebradas con poca pendiente, cubiertas de lodo, mezcla de barro con piedras, dispersas en toda la llanura. • Terrenos llanos y ondulados cortados por canales de antiguos huaicos y otros flujos anteriores.
RIADAS O AVENIDAS	<ul style="list-style-type: none"> • Cursos de agua permanentes (ríos y riachuelos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Crecida rápida del río por incremento súbito del caudal con mayor turbidez. 	<ul style="list-style-type: none"> • Terrenos bajos próximos al cauce de un río con cauces menores abandonados. • Huellas de inundaciones, charcas, grietas de desecación en la superficie cubierta de barro, arena, grava.
EROSION DE RIBERAS	<ul style="list-style-type: none"> • Cursos de agua con cauces divagantes en terrenos poco resistentes al agua. • Curvaturas cóncavas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Socavación de taludes, desprendimientos y colapso de terrenos. Retroceso de riberas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Taludes ribereños socavados con escarpas verticales inestables. • Caudales sinuosos con frentes de erosión en tramos cóncavos.
PROFUNDIZACION DEL CAUCE	<ul style="list-style-type: none"> • Cursos de agua en cauces estrechos, con alta gradiente y alta energía, sobre materiales poco resistentes. • Lechos calcáreos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento rápido del caudal con gran turbulencia. • Desgaste físico y químico de las rocas por acción de las aguas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Terrazas ribereñas cortadas o colgadas. • Presencia de cascadas, saltos o rápidos hidráulicos. • Riberas escarpadas con costras de aspecto ruinoso.
COLMATACION DEL CAUCE	<ul style="list-style-type: none"> • Zonas de mayor amplitud del cauce, menor pendiente. • Margen convexa en cauces sinuosos. • Caudales asimétricos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sedimentación acelerada en el cauce, ya sea por pérdida del caudal, ampliación del cauce, disminución de la gradiente, o por migración lateral del río. 	<ul style="list-style-type: none"> • Formación de playas de arena y gravas. • Aparición de islotes o barras longitudinales en el cauce y ramificación del río. • Elevación del nivel del lecho del río. • Pérdida de altura de los terrenos y obras ribereñas (puentes, muros, etc). • Migración lateral del cauce del río.
DESBORDES E INUNDACIONES	<ul style="list-style-type: none"> • Terrenos bajos relacionados con ríos, riachuelos, lagunas, represas, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento del caudal por encima de la capacidad del cauce y/o superando la altura de las riberas o defensas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie del terreno cubierto con lodo, arena. • Canales secos abandonados temporalmente.