

LA INTEGRACIÓN DE LAS MEDIDAS ESTRUCTURALES Y NO
ESTRUCTURALES PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES POR
DESLIZAMIENTO EN COLOMBIA

Presentado por: Natalia Andrea García Bonilla
Andrea Carolina Restrepo Albarello

Natalia.garcia@ucm.edu.co

carolinaalbarelo@hotmail.com

Docente Asesor: Arquitecta, Carolina Rojas Hernández
Especialización: Prevención, Atención y Reducción de Desastres

Universidad Católica de Manizales

Carrera 23 No. 60 – 63

PBX (57) (6) 893 30 50 FAX (57) (6) 8782937

Email. direxco@ucm.edu.co

Manizales – Caldas

Agosto 2016

*“La experiencia es el mejor profesor
y especialmente la experiencia de
las fallas ocurridas”*
Jaime Suarez Díaz

CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS	7
INDICE DE TABLAS	13
PRESENTACIÓN	14
INTRODUCCION	15
OBJETIVOS	16
OBJETIVO GENERAL	16
OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
1 CONCEPTOS BÁSICOS EN LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES	18
1.1 GESTION DEL RIESGO	18
1.2 AMENAZA.....	20
1.2.1 Amenazas naturales	21
1.2.2 Amenazas antrópicas	24
1.2.3 Amenazas socio-naturales o mixtas	25
1.3 VULNERABILIDAD	27
1.4 RIESGO	28
2 DESLIZAMIENTOS.....	30
2.1 CAUSAS DE LOS DESLIZAMIENTOS	31
2.1.1 Disminución de la resistencia del material	31
2.1.2 Aumento en los esfuerzos de corte	32
2.2 NOMENCLATURA DE LOS DESLIZAMIENTOS	33
2.3 CLASIFICACION DE LOS DESLIZAMIENTOS	35
2.4.1 Caídas	36
2.4.2 Basculamientos	39
2.4.3 Reptación	41

2.4.4	Deslizamientos	41
2.4.4.1	Deslizamientos Rotacionales	42
2.4.4.2	Deslizamientos Translacionales	44
2.4.5	Esparcimientos Laterales	45
2.4.6	Flujo.....	46
3	MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA LA PREVENCIÓN, ATENCIÓN Y REDUCCIÓN DE DESASTRES POR DESLIZAMIENTOS	48
3.1	MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA EL CONTROL DE DESLIZAMIENTOS.....	50
3.1.1	Bermas	50
3.1.2	Trincheras.....	51
3.1.3	Cubiertas de protección.....	51
3.2	MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES 53	
3.2.1	Protección de la superficie del talud	53
3.2.1.1	Concreto lanzado	53
3.2.1.2	Recubrimiento en suelo cemento	53
3.2.2	Modificación de la topografía.....	54
3.2.2.1	Abatimiento de la pendiente del talud	54
3.2.2.2	Remoción de materiales de la cabeza	55
3.2.2.3	Terrazas o bermas intermedias.....	56
3.2.3	Control de aguas superficiales y subterráneas.....	57
3.2.3.1	Drenaje superficial.....	57
3.2.3.1.1	Canales o zanjas de coronación	58
3.2.3.1.2	Colectores en espina de pescado	58
3.2.3.1.3	Canales interceptores a la mitad del talud.....	59

3.2.3.1.4	Canales conectores y disipadores.....	59
3.2.3.2	Drenaje subterráneo.....	62
3.2.4.2	Drenes horizontales o de penetración.....	62
3.2.4.3	Subdrenaje de estructuras de contención.....	64
3.2.5	Estructuras de contención o anclaje.....	65
3.2.5.1	Muros masivos rígidos.....	65
3.2.5.1.1	Muros en concreto reforzado.....	66
3.2.5.1.2	Muros en concreto sin refuerzo.....	68
3.2.5.1.3	Muros en concreto ciclópeo.....	69
3.2.5.2	Muros masivos flexibles.....	69
3.2.5.2.1	Muros en gaviones.....	70
3.2.5.2.2	Muros criba.....	71
3.2.5.2.3	Pedraplenes.....	72
3.2.5.3	Muros en tierra reforzada.....	73
3.2.5.4	Estructuras ancladas.....	76
3.2.5.4.1	Pernos individuales no tensionados.....	77
3.2.5.4.2	Pernos individuales tensionados.....	77
4	MEDIDAS NO ESTRUCTURALES PARA LA PREVENCIÓN, ATENCIÓN Y REDUCCIÓN DE DESASTRES POR DESLIZAMIENTOS.....	80
5	LA INTEGRACIÓN DE LAS MEDIDAS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES EN PROCESOS DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES POR DESLIZAMIENTOS EN COLOMBIA.....	86
5.1.1.1	Factores incidentes o detonantes del deslizamiento ocurrido en el barrio el poblado Urbanización Alto Verde.....	91
5.1.1.2	Medidas estructurales implementadas.....	93
5.1.1.3	Medidas no estructurales implementadas.....	95

5.1.2.1 Factores incidentes o detonantes del deslizamiento ocurrido en el barrio la sultana.....	98
5.1.2.2 Medidas estructurales implementadas.....	99
5.1.2.3 Medidas no estructurales implementadas.....	102
5.1.3.1 Factores incidentes o detonantes de la problemática en la quebrada Juan Bobo.....	104
5.1.3.2 Medidas estructurales implementadas.....	106
5.1.3.3 Medidas no estructurales implementadas.....	109
CONCLUSIONES.....	112
BIBLIOGRAFÍA	114

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Componentes de la amenaza	21
Figura 2 a) Terremoto y Tsunami – Japón 2.011 (CIENCIAS SOCIALES HOY, 2011)	
b) Huracán Katrina – 29 de Agosto de 2.005 (REPUBLICA, 2008).....	21
Figura 3 Erupción Volcán Etna – Diciembre 3 de 2.015 (ALERTA CATASTROFES, 2015)	22
Figura 4 Terremoto de Armenia – 25 de Enero de 1.999 (20 MINUTOS, 2009) ...	22
Figura 5 Deslizamiento Barrio Villatina, Medellín – Septiembre de 1.987 (EL DIARIO DE IRENE, 2013)	23
Figura 6 Inundaciones Ola Invernal Costa Atlántica 2.010 (EL DIARIO DE IRENE, 2013)	23
Figura 7 a) Explosión reactor 4 planta Shernobyl – 26 de abril de 1986 (OLIMPIADAS NACIONALES DE CONTENIDOS EDUCATIVOS EN INTERNET, s.f.) b) Atentado Torres Gemelas – 11 de Septiembre de 2.001	24
Figura 8 Desastre de Bhopal – 3 de Diciembre de 1.984 (EL MUNDO, 2014).....	24
Figura 9 Explosión Poliducto Dos Quebradas, Risaralda – 23 de Diciembre de 2.011 (Calle, 2012).....	25
Figura 10 La Mojana – Ola invernal 2.010 (Posada, 2011)	26
Figura 11 Deslizamiento Barrio El Poblado, Medellín – Noviembre 16 de 2.008 (Zuluaga, 2008)	26
Figura 12 Vulnerabilidad por exposición	27
Figura 13 Riesgo de Deslizamiento (Secretaría Ejecutiva del Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres).....	29
Figura 14 Riesgo de Inundación (El Día, 2.014).....	29
Figura 15 Deslizamiento masivo, Guatemala (Ibañez, 2009)	30
Figura 16 Nomenclatura de taludes y laderas (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998).....	31
Figura 17 Nomenclatura de un deslizamiento (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998).....	33

Figura 18 Tipos de deslizamientos (Weste, Cees van)	36
Figura 19 a) Caídos de bloques por gravedad en roca fracturada. b) Caídos de bloques rodando (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998).....	37
Figura 20 Caídos de roca y residuos (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998).....	37
Figura 21 Movimiento tipo Caídos (La Opinion Coruña, s.f.).....	38
Figura 22 Mecanismos de Falla de Caídos. (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998).....	38
Figura 23 Tipos de deslizamientos (Weste, Cees van)	39
Figura 24 Basculamiento o Volcamientos. (EIRD, s.f.).....	40
Figura 25 Proceso de falla al volteo (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998).....	40
Figura 26 Basculamiento o Volteo en materiales residuales (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998).....	40
Figura 27 Proceso de reptación. (EIRD, s.f.) (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998).....	41
Figura 28 Modelo de deslizamientos (Iturralde Vinent, 2013)	42
Figura 29 Deslizamiento rotacional (Mora Chinchilla)	42
Figura 30 Elementos del deslizamiento rotacional (Saldias, 2014)	43
Figura 31 Características típicas del deslizamiento rotacional (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998).....	43
Figura 32 Deslizamiento Translacional (EIRD, s.f.) (ARQHYS ARQUITECTURA, s.f.)	44
Figura 33 Elementos del deslizamiento translacional (Saldias, 2014).....	45
Figura 34 Esparcimientos Laterales (EIRD, s.f.)	45
Figura 35 Separamiento lateral en suelo (Mora Chinchilla).....	46
Figura 36 Separación lateral en roca (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998).....	46
Figura 37 Flujos de diferentes velocidades (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998).....	47

Figura 38 a) Movimiento de flujo de Detritos. b) Movimiento de flujo de lodo (Mora Chinchilla).....	48
Figura 39 Estabilización por conformación del talud y bermas (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998).....	50
Figura 40 Trincheras para control de caídos (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998).....	51
Figura 41 Cubierta de protección. (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998).....	52
Figura 42 Cubierta de protección para mitigar impacto de los bloques, Tuneles de Quebrada Blanca (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998).....	52
Figura 43 Concreto lanzado La Joya, Guatemala (PILOTECMAR, 2009).....	53
Figura 44 Estructura de concreto lanzado (SUAREZ DIAZ).....	54
Figura 45 Abatimiento de la pendiente de un talud (Pineda).....	55
Figura 46 Efecto de la remoción de materiales de la cabeza de un talud (Pineda)	56
Figura 47 Estabilización por conformación del talud y bermas (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998).....	57
Figura 48 Detalle de zanjas de coronación para el control de aguas superficiales en un talud (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998)	58
Figura 49 Esquema de canales colectores en espina de pescado (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998).....	59
Figura 50 Esquema de entrega de canales interceptores a mitad de talud (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998)	60
Figura 51 La Cabaña, Manizales (Castaño Morales, Mora, Naranjo Henao, Naranjo Renaud, & Peralta Quintero, 2.011)	61
Figura 52 Detalle de un canal rápido (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998).....	61
Figura 53 Canal con disipadores de energía tipo gradería (Suarez Díaz, DESLIZAMIENTOS TOMO II:TECNICAS DE REMEDIACIÓN, 2.009)	61

Figura 54 Canal con pantallas (Mejia Fernandez)	62
Figura 55 Esquema general de colocación de un subdren de penetración (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998)	63
Figura 56 Drenes horizontales (SUAREZ DIAZ)	63
Figura 57 Subdrenaje en muros de contención (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998).....	64
Figura 58 Muros Rígidos (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998)	65
Figura 59 Muro en concreto reforzado barrio Cabecera Sector Chmblum, Municipio de Condoto, Chocó (ALCALDÍA DE CONDOTO - CHOCÓ, 2011)	67
Figura 60 Esquema típico de un muro de contención en concreto armado con su sistema de subdrenaje (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998)	67
Figura 61 Tipos de muros en concreto reforzado (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998).....	68
Figura 62 Muro en concreto sin refuerzo (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998).....	69
Figura 63 Esquema de muros flexibles (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998).....	70
Figura 64 Muro en gaviones (INGENIERIA, 2015).....	71
Figura 65 Esquema de muro en gavión (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998).....	71
Figura 66 Mina Cobriza, Perú (Alba Hurtado, 2015)	72
Figura 67 Esquema general de los muros de criba (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998).....	72
Figura 68 Muro en Piedra (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998)	73
Figura 69 Muro en tierra armada Santander, Colombia (GEOMATRIX, s.f.).....	74
Figura 70 Esquema de estructura de contención de suelo reforzado con geomallas (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998)	74

Figura 71 Esquema de estructura de tierra armada con cubrimiento frontal en paneles de concreto (TIERRA ARMADA Tecnología Sustentable, s.f.)	75
Figura 72 Muro anclado Girón, Santander, Colombia (Ardila, 2.011).....	76
Figura 73 Muro con anclajes no tensados mediante el uso de la técnica soil nailing (Yepes Piqueras, 2.014).....	78
Figura 74 Muros con anclajes tensados (NACIONAL DE PERFORACIONES SAS, s.f.)	79
Figura 75 Muro anclado en la barranca de Xonacantepec, Puebla. Proceso de tensado (TECSA, s.f.)	79
Figura 76 Muro anclado en la barranca de Xonacantepec, Puebla. Proceso de tensado (TECSA, s.f.)	80
Figura 77 Escarpe del deslizamiento (LOPEZ, 2008)	90
Figura 78 Daños causados por el deslizamiento al conjunto residencial de estrato 6 en el Poblado, Medellín. (LOPEZ, 2008).....	90
Figura 79 Recreación de cómo estaban ubicadas las seis viviendas con su respectiva vía de circulación de la urbanización afectada antes de la ocurrencia de la catástrofe. (LOPEZ, 2008).....	92
Figura 80 Localización de la zona de deslizamiento sobre el área afectada. (LOPEZ, 2008)	92
Figura 81 Paralelo general antes y después de ejecutar las obras de estabilización (medidas estructurales) para la mitigación del riesgo por deslizamiento (LOPEZ, 2008).....	93
Figura 82 Localización en planta de las medidas estructurales implementadas para la mitigación del riesgo por deslizamiento después de la tragedia (LOPEZ, 2008).....	94
Figura 83 Relación entorno y conjunto de medidas estructurales llevadas a cabo para la seguridad y confort de la zona residencial (vivirenel poblado, 2012)	95
Figura 84 Se observa el trabajo materializado que perfila cada espacio del terreno finalizando con el muro de contención y demás cortes. (vivirenel poblado, 2012) .	95
Figura 85 Escarpe del deslizamiento (Procolombia, 2014)	97
Figura 86 Secuencia de la construcción de medidas estructurales para la mitigación del riesgo por deslizamiento después de la tragedia (POSADA, 2012)	98

Figura 87 Se observa el trabajo materializado que perfila cada espacio del terreno haciéndolo menos pesado apoyándose con el manejo de aguas para la evacuación de estas (POSADA, 2012)	100
Figura 88 Localización en planta de las medidas estructurales en relación con las preexistencias (SULTANA, 2013).....	100
Figura 89 Se observa cómo van relacionadas medidas estructurales y cómo funcionan en conjunto (POSADA, 2012)	101
Figura 90 Panorámica de la Sultana donde se puede observar el gran tamaño de la intervención de las estabilidades (SULTANA, 2013)	101
Figura 91 Entorno de la Quebrada Juan Bobo (Tirado, Ing. Carlos Ignacio Uribe, s.f.)	104
Figura 92 Estado del entorno físico aledaño de la Q. Juan Bobo (Tirado, Ing. Carlos Ignacio Uribe, s.f.)	105
Figura 93 Entorno en alto riesgo por deslizamiento- Antes de la intervención (Tirado, Ing. Carlos Ignacio Uribe, s.f.)	105
Figura 94 Estado de las viviendas a intervenir (EDU, 2007)	106
Figura 95 Mejoramiento del entorno para mitigar el riesgo por deslizamiento en las laderas sensibles de la Q. Juan Bobo (Tirado, Ing. Carlos Ignacio Uribe, s.f.)....	107
Figura 96 Perfil del entorno intervenido donde se relaciona, el paisajismo y las medidas estructurales llevadas a cabo (EDU, 2007).....	108
Figura 97 Estado previo a la intervención, y Finalización del Entorno intervenido por las medidas estructurales llevadas a cabo para mitigar el riesgo por deslizamiento (Tirado, Ing. Carlos Ignacio Uribe, s.f.).....	109
Figura 98 Socialización con la comunidad sobre el proyecto Urbano Integral de la Quebrada Juan Bobo (EDU, 2007)	110
Figura 99 Proyecto Nuevo Sol de Oriente Juan bobo (EDU, 2007)	111

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 (UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES, 2.012)	20
Tabla 2 Clasificación de los deslizamientos (Mora Chinchilla)	36
Tabla 3 Clasificación de las medidas estructurales para prevención y mitigación de riesgo de deslizamientos	49
Tabla 4 (UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES, 2.012)	87

PRESENTACIÓN

Esta monografía aspira poner en evidencia la importancia de implementar las medidas estructurales para desarrollar procesos de gestión del riesgo, en este caso aquellos ocasionados por deslizamientos o procesos de remoción en masa, y de cómo se obtienen resultados óptimos y exitosos al estar complementadas por las medidas no estructurales, partiendo de los conceptos básicos que componen la gestión del riesgo, para poder explicar los muchos componentes de subintegración que, directa e indirectamente, permiten exponer, como y porque se dan los deslizamientos, que tipos de deslizamientos hay y como se materializan, detonados en muchos casos por la actividad antrópica, debido a la colonización de una segregación social y espacial sobre terrenos en amenaza.

Después de contextualizar y reflexionar conceptualmente sobre todos los factores que influyen para la creación de escenarios de riesgos por deslizamientos, se darán a conocer algunas de las diferentes obras de contención, captación, control, manejo de aguas superficiales, entre otras medidas estructurales implementadas en Colombia para la prevención y mitigación de los mismos, teniendo claro su uso y la aplicación de las mismas según sea el caso.

De igual manera se pretende dar a conocer las medidas no estructurales implementadas, especialmente políticas públicas, que han acompañado los procesos de Gestión del Riesgo de Desastres en el país, para esto se darán a conocer algunos casos en los cuales se puede apreciar como gracias a la integración de estos tipos de medidas se ha alcanzado el éxito en procesos de gestión del riesgo de manera correctiva y prospectiva.

INTRODUCCION

Los deslizamientos, son fenómenos “naturales” que hacen referencia al desprendimiento de materiales propios del terreno (piedras, tierra, detritos) debido a la gravedad, y son causados por eventos naturales como lluvias, inundaciones, terremotos etc., así como por actividades humanas como el cambio de la topografía del terreno de manera errada, reducción o desaparición de la cubierta vegetal del terreno, cambios de uso en el suelo, construcciones en terrenos inestables (sobrecargas), etc.

Los eventos de origen natural o antrópico, que se manifiestan dentro de un contexto urbano, han representado y representan una variabilidad de factores degradantes de valor primordial sobre las poblaciones afectadas, ya que estos desencadenan escenarios trágicos por las destrucciones, consternaciones y traumas que ocasionan, dando lugar a la aparición de sociedades caracterizadas por fenómenos devastadores, cada vez más vulnerables.

El proceso de desarrollo que tienen países como Colombia, es decir países en vía de desarrollo, es acelerado en cuanto al crecimiento de la población y el desplazamiento forzado entre otras, por lo cual es una constante en la mayoría de los casos que la apropiación del territorio se caracterice por el asentamiento de grandes grupos poblacionales en sitios de alto riesgo y marginalidad.

Las amenazas naturales o antrópicas, no afectan a todos por igual. El grado de impacto que las mismas generen sobre un individuo o comunidad es proporcional al grado de vulnerabilidad de los mismos; es por esto que en países en desarrollo como Colombia, es necesario desarrollar mecanismos que permitan garantizar la protección de las comunidades ante los desastres, o al menos mitigar el impacto que tengan los mismos en la población; todo esto mediante la integración de medidas estructurales y no estructurales en los procesos de gestión del riesgo, es

decir, mediante políticas públicas y la gestión organizada y mancomunada de las entidades estatales con las cuales se desarrollen tanto obras civiles como estrategias sociales, educativas y demás.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Exponer como se ha integrado la implementación de medidas estructurales y no estructurales de manera exitosa en los procesos de gestión del riesgo en Colombia, específicamente aquellos relacionados con deslizamientos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar los factores más incidentes en los movimientos de remoción en masa y las medidas necesarias para la prevención y mitigación del riesgo de ocurrencia de los mismos.
- Exponer las medidas estructurales para el control de deslizamientos más implementadas en Colombia.
- Exponer los avances en Colombia en cuanto a la implementación de medidas no estructurales en los procesos de gestión del riesgo, desde la implementación de políticas públicas que promueven la planeación del territorio de manera segura para sus habitantes, el fortalecimiento de las instituciones, así como el fortalecimiento del conocimiento del riesgo en las comunidades.

- Mostrar como la Gestión Integral del Riesgo puede evitar tragedias y a su vez mejorar el entorno urbanístico de una población viviendo en armonía con el entorno de forma más segura para sus habitantes.

1 CONCEPTOS BÁSICOS EN LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES

Para poder determinar las medidas de intervención para la prevención y/o reducción del riesgo por deslizamientos es necesario tener claros algunos conceptos, y así poder entender la importancia de las mismas y crear un criterio que permita una correcta toma de decisiones basado en los conocimientos científico-prácticos e interdisciplinarios, que garanticen el adecuado uso de los recursos para los procesos de gestión del riesgo.

1.1 GESTION DEL RIESGO

Los desastres son eventos naturales o provocados por el ser humano, con incidencia negativa sobre los ecosistemas, la industria y las comunidades, los cuales superan la capacidad de respuesta de una determinada comunidad, y requieren el apoyo de otras comunidades, instituciones locales, regionales, nacionales o incluso internacionales para poder afrontarlos.

Estos eventos tienen como resultado la pérdida de vidas humanas, daños severos y en ocasiones permanentes sobre los ecosistemas y daños materiales, todo esto implicando un altísimo costo económico, social y ambiental para el ser humano.

De acuerdo a la ley 1523 de 2.012 la gestión del riesgo se define como:

“Es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible.”

Conforme a lo anterior, se puede inferir que son las acciones que permiten determinar los riesgos de ocurrencia de un desastre determinado, para poder intervenirlos y así eliminarlos, modificarlos o de ser necesario disminuirlos y prepararse para atender las emergencias y daños que se presenten durante la ocurrencia de un desastre, es decir, las acciones preventivas, correctivas y de mitigación que se requieren.

Para esto es necesario identificar, analizar y cuantificar la probabilidad de sufrir pérdidas y los efectos secundarios que ocasionan los desastres así como los agentes o factores detonantes de dichos eventos.

La Guía Municipal para la Gestión del Riesgo de 2012 plantea un modelo basado en la identificación de los escenarios de riesgo como punto de partida para la toma de decisiones en cuanto a la planeación y ejecución de las acciones requeridas para la gestión del riesgo de un municipio. Dicha identificación se realiza mediante la caracterización de los factores de riesgo conforme a la tabla 1.

La gestión del riesgo requiere la diferenciación de 3 principios fundamentales y su correlación; dichos principios son amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

CRITERIO DE IDENTIFICACIÓN DE ESCENARIOS	DESCRIPCIÓN DEL CRITERIO	EJEMPLOS DE ESCENARIOS DE RIESGO	PRINCIPAL APLICACIÓN
1	Escenarios de riesgo por fenómenos amenazantes	Inundaciones Sísmico Incendios estructurales	Implementación de los procesos de la gestión del riesgo bajo un enfoque territorial.
2	Escenarios de riesgo por tipo de elementos o bienes expuestos	Puentes Cultivos Viviendas Patrimonio histórico	Estudio e intervención desde el punto de vista sectorial, bajo un interés económico, social o cultural: estimar pérdidas, reducir y/o hacer protección financiera.
3	Escenarios de riesgo por tipo de daños	Heridos Trauma psicológico Contaminación de ecosistemas	Implementación de medidas de preparación para la respuesta y recuperación, sobre todo en sectores e instituciones con misión relacionada con el tipo daño.
4	Escenarios de riesgo por grupo social	Niños y niñas Adultos mayores Mujeres cabeza de familia	Implementación de los procesos de la gestión del riesgo bajo un enfoque de gestión social.
5	Escenarios de riesgo por actividades económicas	Minería Transporte Industria química	Implementación de los procesos de la gestión del riesgo bajo principios de responsabilidad por parte de los actores económicos.
6	Escenarios de riesgo por actividades sociales	Corralejas Peregrinaciones multitudinarias	Implementación de los procesos de la gestión del riesgo bajo principios de corresponsabilidad por parte de promotores y usuarios.
7	Escenarios de riesgo por actividades institucionales	Instituciones educativas Unidades militares	Implementación de los procesos de la gestión del riesgo bajo enfoque de continuidad de funcionamiento.
8	Escenarios de riesgo por operación de grandes obras	Embalses Líneas de flujo de hidrocarburos Túneles	Implementación de los procesos de la gestión del riesgo bajo principios de responsabilidad por parte del operador de una obra.

Tabla 1 Ejemplos de criterios para la identificación de escenarios de riesgo (UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES, 2.012)

1.2 AMENAZA

Al hablar de amenaza se hace referencia a los factores externos de una comunidad o un sistema expuesto, representados por la probabilidad de ocurrencia de cualquier tipo de fenómeno o evento natural o causado por el hombre, que puede producir un daño (material o inmaterial).

La amenaza tiene tres componentes: la energía potencial o magnitud del evento probable, susceptibilidad o predisposición a la ocurrencia del evento en un periodo de tiempo determinado, factor detonante o acciones naturales o antrópicas que generan la ocurrencia de un evento.

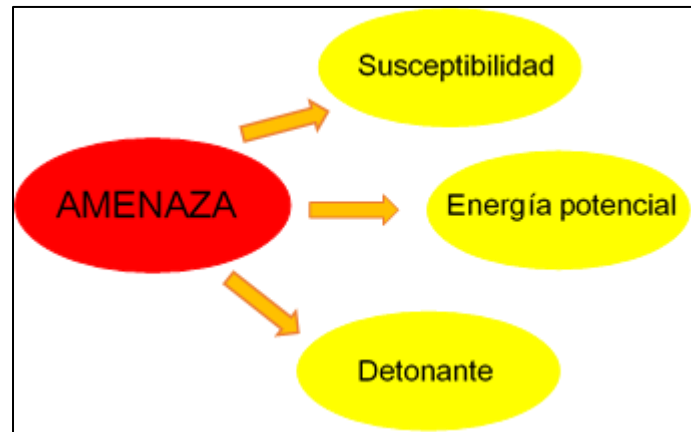


Figura 1 Componentes de la amenaza (Foschiatt)

Las amenazas pueden ser de origen natural, antrópico, socio-naturales, tecnológicas y/o biológicas. Para lo que compete en la temática expuesta en el presente documento se abordaran las tres primeras, ya que son las que pueden generar deslizamientos:

1.2.1 Amenazas naturales

Son aquellos fenómenos atmosféricos, hidrológicos, geológicos que se producen en la biosfera, que pueden ocasionar daños al ser humano con implicaciones tanto económicas como sociales y vitales. Estas son: erupciones volcánicas, huracanes, terremotos, tsunamis, deslizamientos, inundaciones, etc. (Figuras 2 a 6)



Figura 2 a) Terremoto y Tsunami – Japón 2.011 (CIENCIAS SOCIALES HOY, 2011) b) Huracán Katrina – 29 de Agosto de 2.005 (REPUBLICA, 2008)



Figura 3 Erupción Volcán Etna – Diciembre 3 de 2.015 (ALERTA CATASTROFES, 2015)



Figura 4 Terremoto de Armenia – 25 de Enero de 1.999 (20 MINUTOS, 2009)



Figura 5 Deslizamiento Barrio Villatina, Medellín – Septiembre de 1.987 (EL DIARIO DE IRENE, 2013)



Figura 6 Inundaciones Ola Invernal Costa Atlántica 2.010 (EL DIARIO DE IRENE, 2013)

1.2.2 Amenazas antrópicas

Son aquellas directamente relacionadas con las actividades desarrolladas por el hombre, como los incendios, explosiones, contaminaciones, guerras, accidentes, etc. (Figuras 7 a 9)



Figura 7 a) Explosión reactor 4 planta Shernobyl – 26 de abril de 1986 (OLIMPIADAS NACIONALES DE CONTENIDOS EDUCATIVOS EN INTERNET, s.f.) b) Atentado Torres Gemelas – 11 de Septiembre de 2.001 (El Universal, 2.014)



Figura 8 Desastre de Bhopal – 3 de Diciembre de 1.984 (EL MUNDO, 2014)



Figura 9 Explosión Poliducto Dos Quebradas, Risaralda – 23 de Diciembre de 2.011 (Calle, 2012)

1.2.3 Amenazas socio-naturales o mixtas

Son aquellos eventos que, aun cuando pueden ocurrir en ocasiones de manera natural, en este caso ocurren por la intervención del hombre como factor detonante, es decir, por ejemplo, las inundaciones en zonas residenciales por ocupación y modificación de los cauces, o los deslizamientos causados por la deforestación y/o construcción de viviendas, caminos, etc. en las laderas, lo cual genera modificaciones en la topografía y sobrecargas que desestabilizan el terreno. (Figuras 10 y 11)



Figura 10 La Mojana – Ola invernal 2.010 (Posada, 2011)



Figura 11 Deslizamiento Barrio El Poblado, Medellín – Noviembre 16 de 2.008 (Zuluaga, 2008)

Amenaza Tecnológica: Las actividades económicas que usan procesos de altas presiones y temperaturas, así como materiales tóxicos y corrosivos, inducen la ocurrencia de fenómenos como explosiones e incendios, entre otros

1.3 VULNERABILIDAD

Conforme a la ley 1523 de 2.012 se entiende por vulnerabilidad lo siguiente:

“Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos.”

La vulnerabilidad son las condiciones propias de un sistema (comunidad), que los hacen susceptibles ante las amenazas, es decir, la probabilidad de sufrir daños ante la ocurrencia de un evento según el grado de fragilidad de los elementos expuestos, y la capacidad de sobreponerse a los efectos del mismo.

$$\text{VULNERABILIDAD} = \frac{\text{EXPOSICIÓN} \times \text{SUCEPTIBILIDAD}}{\text{RESILIENCIA}}$$



Figura 12 Vulnerabilidad por exposición (Cortés Blanco, 2.010)

La figura 12 muestra como la vivienda 1 tiene mayor vulnerabilidad que la vivienda 2 ya que se encuentra cercana al área de inundación del río, es decir tiene mayor exposición y susceptibilidad.

Comúnmente la vulnerabilidad está asociada directamente con las estructuras sociales, pues en la mayoría de los casos son las comunidades con menores recursos las más afectadas por los eventos naturales y/o antrópicos debido a su ubicación geográfica, los materiales de sus viviendas, su nivel educativo, y lo que es aún más grave, sus escasos recursos económicos que conllevan a un bajo nivel de resiliencia¹ agravando el panorama posterior a la ocurrencia de un evento desastroso.

1.4 RIESGO

La ley 1523 de 2.012 define el riesgo de desastres como *“los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos”*, estos daños pueden ser de tipo económico, ambiental y/o social.

El riesgo está determinado en función de la amenaza y la vulnerabilidad, ya que las mismas por separado no representan un peligro para una comunidad, y es directamente proporcional a las dos variables.

¹ Capacidad de un individuo o una comunidad de sobreponerse a un evento adverso

RIESGO = AMENAZA x VULNERABILIDAD

Figura 13 Riesgo de Deslizamiento (Secretaría Ejecutiva del Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres)



Figura 14 Riesgo de Inundación (El Día, 2.014)

2 DESLIZAMIENTOS

Un talud es una superficie inclinada, la cual tiene una forma determinada que ha sido adoptada a través del tiempo de forma temporal o “permanente” si se cuenta con un adecuado sistema de estabilidad del mismo. Los taludes son estructuras aparentemente estables pero que se encuentran en constante cambio debido a los efectos causados por la erosión o los movimientos propios del talud, por lo cual es necesario detallar los procesos de cambio externos e internos del talud para poder conocer su comportamiento y así mismo determinar los procesos de intervención que se requieren para garantizar su estabilidad y de esta forma prevenir o reducir los desastres que puedan presentarse por deslizamientos de este.

Los deslizamientos, también conocidos como movimientos de remoción en masa o movimientos de pendiente, son eventos donde el suelo o roca se desplazan a lo largo de una pendiente a causa de la gravedad cuando el esfuerzo de corte excede el esfuerzo de resistencia del material.



Figura 15 Deslizamiento masivo, Guatemala (Ibañez, 2009)

Jaime Suarez Díaz afirma que para determinar las condiciones de estabilidad de un talud (construido por el hombre mediante procesos de corte o relleno) o ladera (pendiente natural del terreno), se requiere conocer y comprender los agentes que causan la inestabilidad del mismo, por lo tanto es necesario anticipar los cambios de condiciones de carga, humedad y drenaje a las cuales el talud va a estar expuesto.

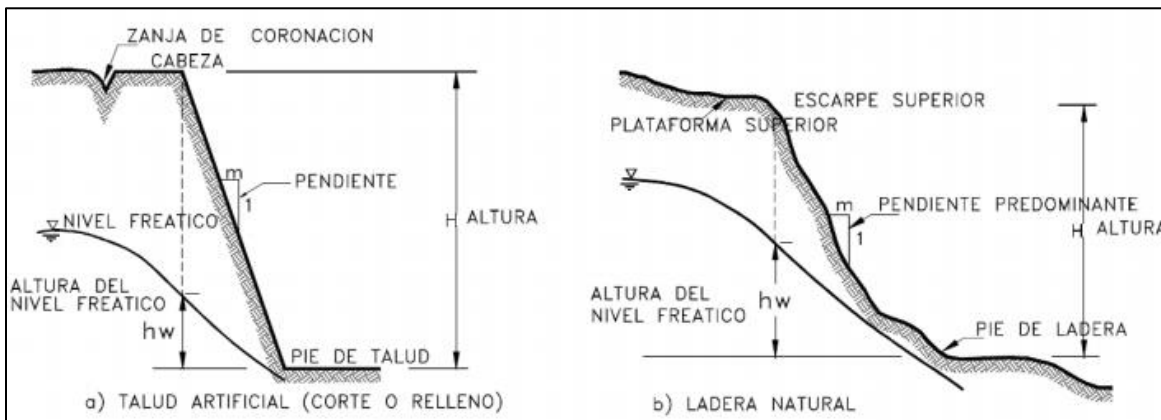


Figura 16 Nomenclatura de taludes y laderas (Suarez Díaz, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, 1.998)

En el caso de deslizamientos es necesario conocer los elementos o factores detonantes que conllevaron a la falla del talud, para así poder determinar las medidas a implementar para la reducción del riesgo de una nueva falla, es decir, para mitigar la amenaza.

2.1 CAUSAS DE LOS DESLIZAMIENTOS

La falla de un talud es causada principalmente por dos situaciones o por la combinación de las mismas:

- Disminución de la resistencia del material.
- Aumento de los esfuerzos de cortante.

2.1.1 Disminución de la resistencia del material

- Disminución de la resistencia del material (motorización, cambios en el estado de consistencia)
- Cambios en las fuerzas intergranulares (presión de los poros de agua, disolución)
- Cambios en la estructura (disminución de la resistencia en el plano de falla, fracturamiento debido a “descargas”)

2.1.2 Aumento en los esfuerzos de corte

- Remoción del soporte lateral o de base (erosión, deslizamientos previos, cortes de carreteras y canteras)
- Incremento de carga (peso de la lluvia/nieve, rellenos, vegetación)
- Incremento de presiones laterales (presiones hidráulicas, raíces, cristalización, expansión de la arcilla)
- Stress transitorio (terremotos, vibraciones de camiones, maquinaria, explosiones)
- Inclinación regional (movimientos geológicos).

Estos cambios en el comportamiento de los taludes están directamente ligados a los siguientes factores:

- Litología: Homogénea o Heterogénea
- Microestructura: Fabrica y Textura
- Estructura Geológica: planos de estratificación y en rocas, los planos de foliación o esquistosidad, fracturas, slickenslides, fallamiento, fracturación
- Tectónica
- Geomorfología (predicción del comportamiento y estado futuro)
- Meteorización
- Pendiente y el relieve
- El clima y la Hidrología: precipitaciones convectivas y estratiformes

- La hidrogeología
- Sismicidad
- Cobertura Vegetal
- Efecto Antrópico
- Factor Tiempo
- Vegetación

2.2 NOMENCLATURA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Los procesos geotécnicos activos de los taludes y laderas corresponden generalmente, a movimientos hacia abajo y hacia afuera de los materiales que conforman un talud de roca, suelo natural o relleno, o una combinación de ellos. Estos movimientos se presentan a lo largo de superficies de falla, por caída libre, movimientos de masa, erosión o flujos. Adicionalmente es probable que en algunas partes del talud o ladera, algunos materiales puedan moverse hacia arriba, mientras otros se mueven hacia abajo. (Figura 17)

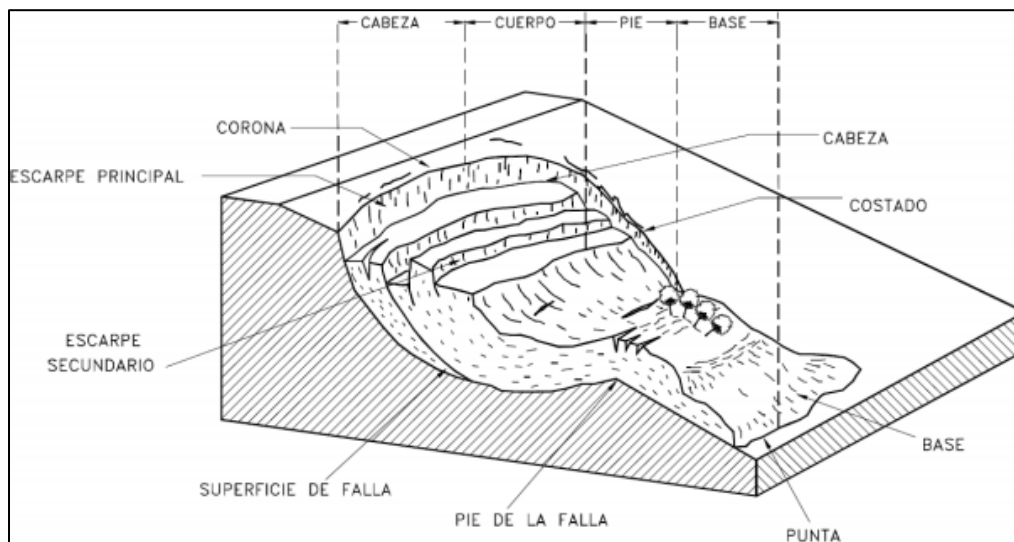


Figura 17 Nomenclatura de un deslizamiento (Suarez Díaz, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, 1.998)

1. Escarpe principal

Corresponde a una superficie de pendiente muy fuerte, localizada en el límite del deslizamiento, es decir, a lo largo de la periferia del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material de la ladera o talud. La continuación o proyección de este bajo el material desplazado, forma la superficie de ruptura.

2. Escarpe secundario

Una superficie de pendiente muy fuerte producida por desplazamientos diferenciales dentro del material desplazado.

3. Cabeza

Las partes superiores del material desplazado que se mueve a lo largo del contacto entre el material desplazado y el escarpe principal.

4. Cima

El punto más alto del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

5. Corona

Sector de la ladera o talud cuyo material aún se encuentra en el sitio porque no ha fallado y se encuentra prácticamente inalterado. Se encuentra en la parte más alta del escarpe principal y puede presentar grietas llamadas grietas de corona.

6. Superficie de falla

Corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. El volumen de suelo debajo de la superficie de falla no se mueve.

7. Pie de la superficie de falla

La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.

8. Base

El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

9. Punta o uña

El punto de la base que se encuentra a más distancia del tope del deslizamiento.

10. Costado o flanco

Un lado del movimiento.

11. Superficie original del terreno

La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.

12. Derecha e izquierda

Para describir un deslizamiento se prefiere usar la orientación geográfica, pero si se emplean las palabras derecha e izquierda debe referirse al deslizamiento observado desde la corona mirando hacia el pie.

2.3 CLASIFICACION DE LOS DESLIZAMIENTOS

Los deslizamientos pueden ser clasificados mediante los siguientes factores:

- **Material:** Roca, suelo, litología, estructura, propiedades geotécnicas
- **Atributos geomórficos:** motorización, forma de la pendiente
- **Geometría del deslizamiento:** profundidad, longitud, altura, etc.
- **Tipo de movimiento:** Falla, deslizamiento, flujo, etc.
- **Clima:** Tropical, Periglacial etc.
- **Humedad:** Seco, mojado, saturado
- **Velocidad del movimiento:** Muy lento, lento, etc.
- **Mecanismo de disparo:** Terremoto, lluvias, etc.

Uno de los métodos de clasificación más usado es el método de Varnes (1978), el cual relaciona el tipo de movimiento y el tipo de material desplazado (Tabla 2) (Figura 18)

Tipo de movimiento		Tipo de material		
		Roca	Suelo	
			De grano grueso	De grano fino
Caídas		Caídas de rocas	Caídas de detritos	Caídas de suelos
Basculamientos		Basculamiento de rocas	Basculamiento de detritos	Basculamiento de suelos
Deslizamientos	Rotacionales	Deslizamiento rotacional de rocas	Deslizamiento rotacional de detritos	Deslizamiento rotacional de suelos
	Translacionales	Deslizamiento translacional de rocas	Deslizamiento translacional de detritos	Deslizamiento translacional de suelos
Separaciones laterales		Separación lateral en roca	Separación lateral en detritos	Separación lateral en suelos
Flujos		Flujo de rocas	Flujo de detritos	Flujo de suelos
Complejos		Combinación de dos o más tipos		

Tabla 2 Clasificación de los deslizamientos (Mora Chinchilla)

2.4 TIPOS DE MOVIMIENTO DE LADERA

2.4.1 Caídas

En los movimientos de caída una masa de cualquier tamaño se desprende de un talud de pendiente pronunciada, a lo largo de una superficie, en la cual se presenta muy poco desplazamiento de corte y desciende principalmente, por caída libre, a saltos o rodando.

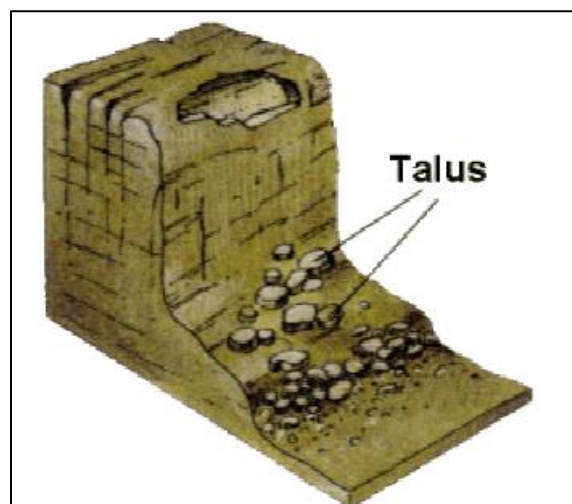


Figura 18 Tipos de deslizamientos (Weste, Cees van)

Estos tipos de movimientos son muy rápidos y pueden o no, ser precedidos de movimientos menores que conduzcan a la separación progresiva o inclinación del bloque o masa de material. Tienden a comportarse como caídos de caída libre cuando la pendiente superficial es de más de 75 grados. En taludes de ángulo menor generalmente, los materiales rebotan y en los taludes de menos de 45 grados los materiales tienden a rodar. (Figuras 19 a 22)

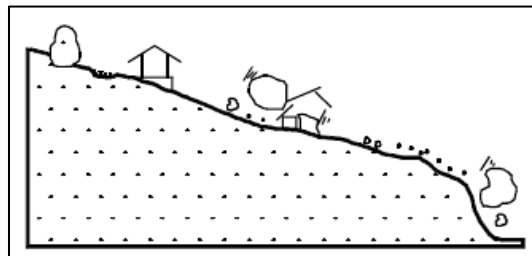


Figura 19 a) Caídos de bloques por gravedad en roca fracturada. b) Caídos de bloques rodando (Suarez Díaz, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, 1.998)

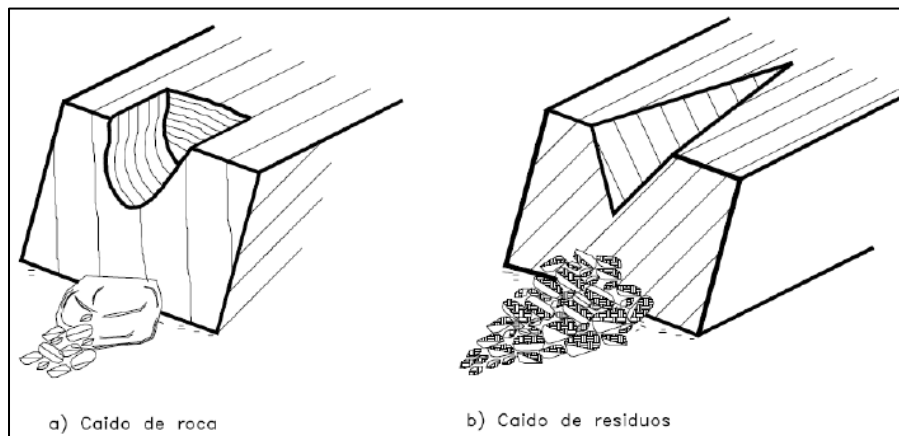


Figura 20 Caídos de roca y residuos (Suarez Díaz, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, 1.998)



Figura 21 Movimiento tipo Caídos (La Opinion Coruña, s.f.)

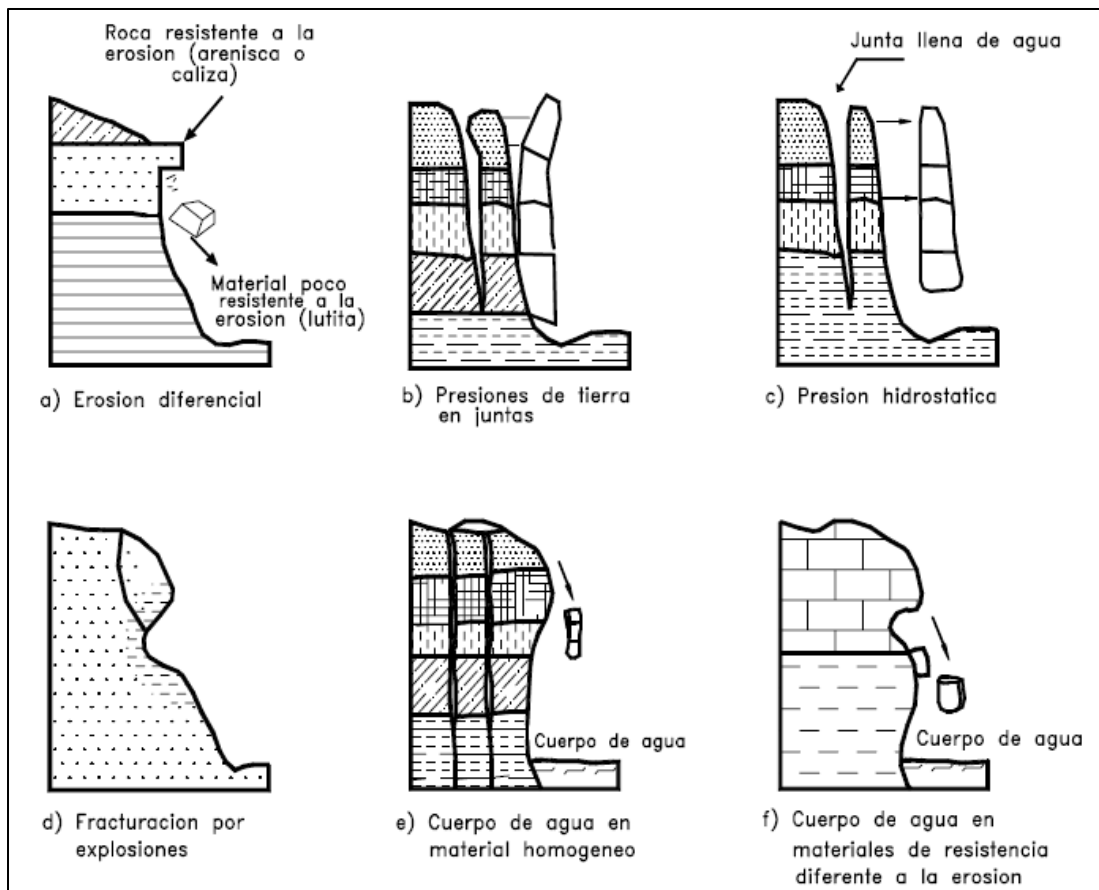


Figura 22 Mecanismos de Falla de Caídos. (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998)

2.4.2 Basculamientos

Este tipo de movimiento consiste en una rotación hacia adelante (afuera) de una masa de material alrededor de un punto o eje del centro de gravedad de la unidad y generalmente, ocurren en las formaciones rocosas.

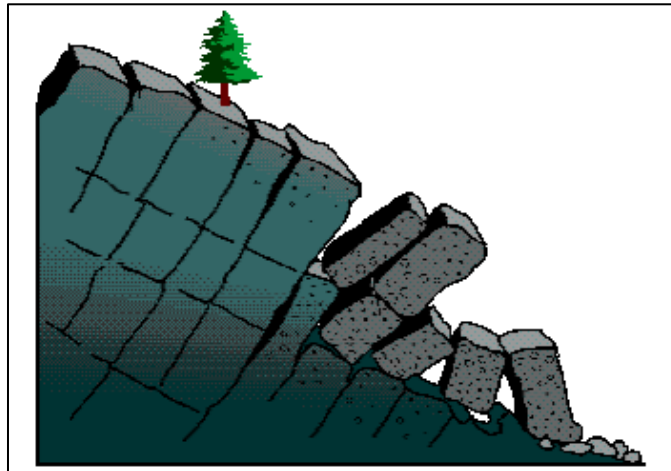


Figura 23 Tipos de deslizamientos (Weste, Cees van)

Las fuerzas que lo producen son generadas por las unidades adyacentes, el agua presente en las grietas o juntas del macizo, por el empuje del material ubicado en la parte superior de la ladera, expansiones y los movimientos sísmicos. La inclinación puede abarcar zonas muy pequeñas o incluir volúmenes de varios millones de metros cúbicos. (Figuras 24 y 25)

Dependiendo de la formación geológica del terreno, así como de las características geométricas del mismo, este tipo de movimientos pueden o no terminar en caídos o en derrumbes y variar desde extremadamente lentos a rápidos. (Figura 26)

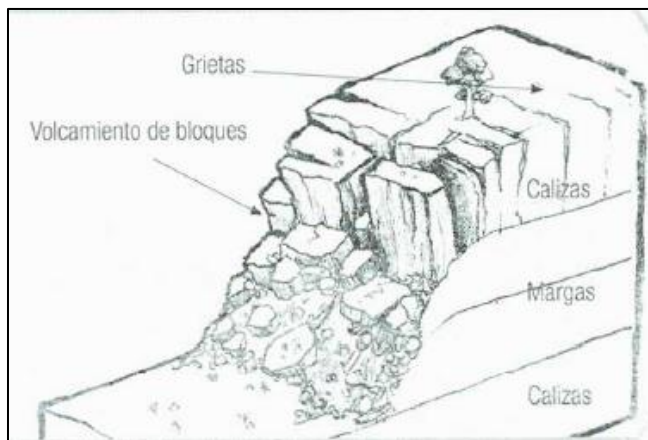


Figura 24 Basculamiento o Volcamientos. (EIRD, s.f.)

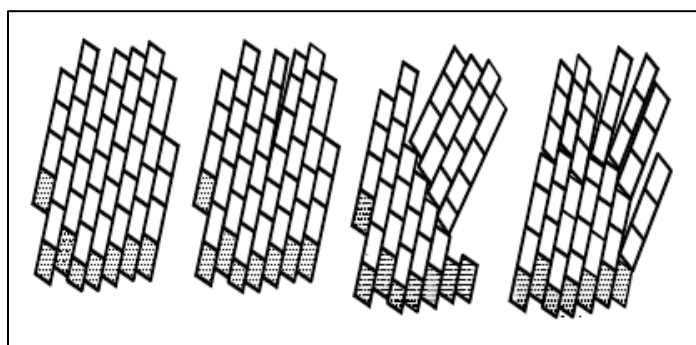


Figura 25 Proceso de falla al volteo (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998)

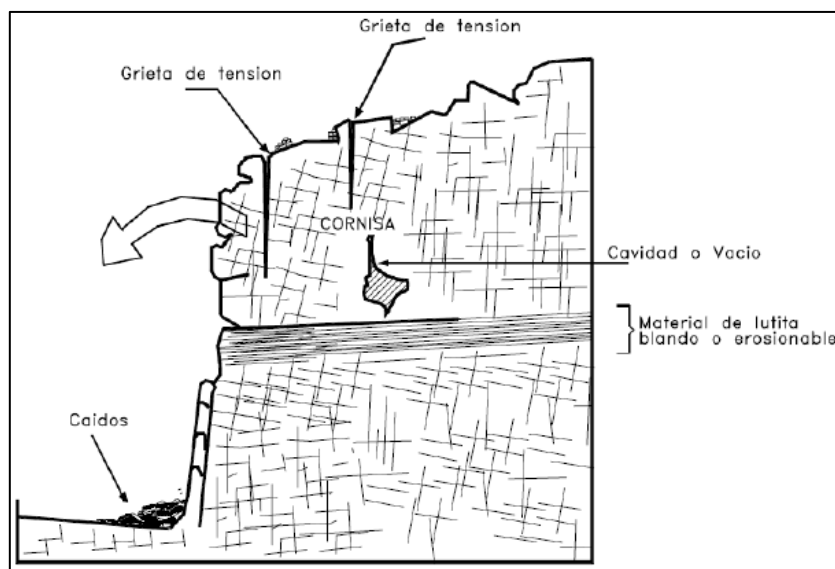


Figura 26 Basculamiento o Volteo en materiales residuales (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998)

2.4.3 Reptación

Es la deformación que sufre la masa del suelo o roca como consecuencia de movimientos muy lentos del suelo subsuperficial por acción de la gravedad sin una superficie de falla definida. Se suele manifestar en la curvatura de las rocas y troncos de los árboles, el corrimiento de carreteras y líneas férreas y la aparición de grietas.

Se presenta debido a las variaciones climáticas que afectan la ladera, es decir, variaciones en los procesos de humedecimiento y secado de los suelos. Usualmente es un movimiento que presenta desplazamientos de pocos centímetros al año pero que afecta grandes superficies del terreno.

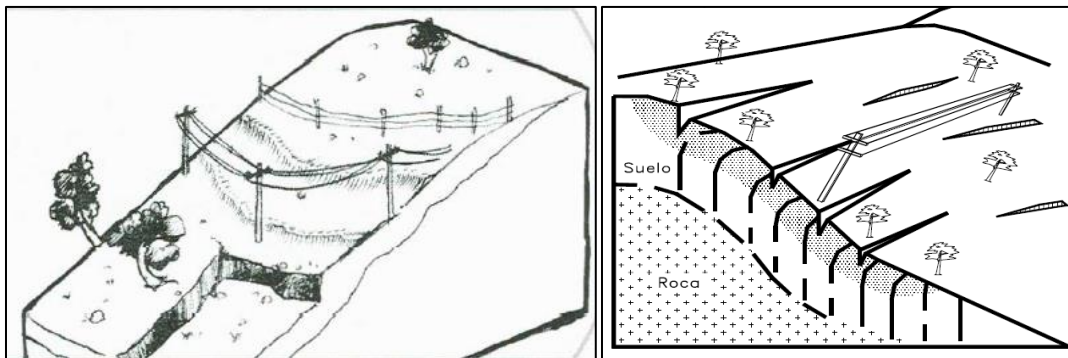


Figura 27 Proceso de reptación. (EIRD, s.f.) (Suarez Díaz, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, 1.998)

2.4.4 Deslizamientos

Este movimiento consiste en un desplazamiento de corte de una masa de suelo o roca ladera abajo a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada de intensa deformación cortante. Este tipo de movimiento no ocurre de manera simultánea sino progresivamente, donde el volumen de suelo desplazado aumenta a partir de un punto de falla a lo largo de la superficie de ruptura. (Figura 28)

Este tipo de movimiento generalmente se manifiesta de manera preliminar mediante grietas en la superficie original del terreno.



Figura 28 Modelo de deslizamientos (Iturralde Vinent, 2013)

Los deslizamientos se clasifican de acuerdo a la superficie de deslizamiento del material desplazado en dos grupos, rotacionales y translacionales o planares.

2.4.4.1 Deslizamientos Rotacionales

La superficie de deslizamiento ocurre internamente en el material y presenta una forma relativamente circular o cóncava (“cuchara”) en la superficie de falla. Visto en planta, un deslizamiento rotacional presenta agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento. (Figuras 29 y 30)

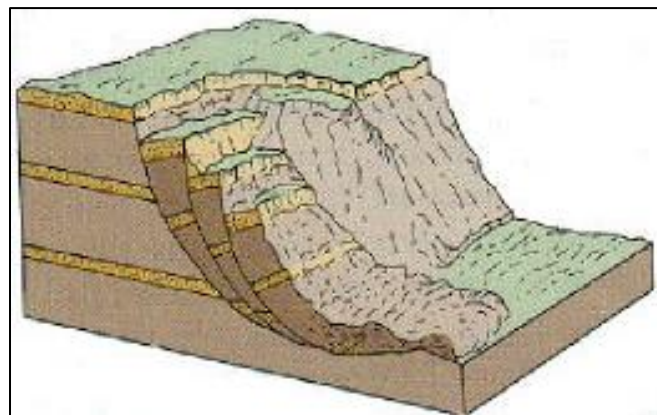


Figura 29 Deslizamiento rotacional (Mora Chinchilla)

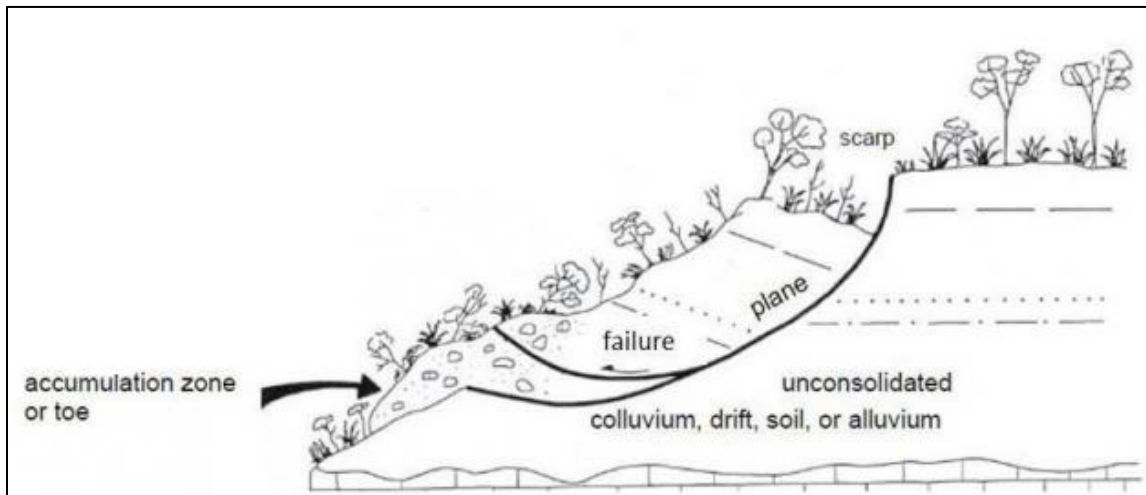


Figura 30 Elementos del deslizamiento rotacional (Saldias, 2014)

El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento generándose comúnmente, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento (Figura 31). Generalmente la forma y localización de la superficie de falla está influenciada por las discontinuidades, juntas y planos de estratificación.

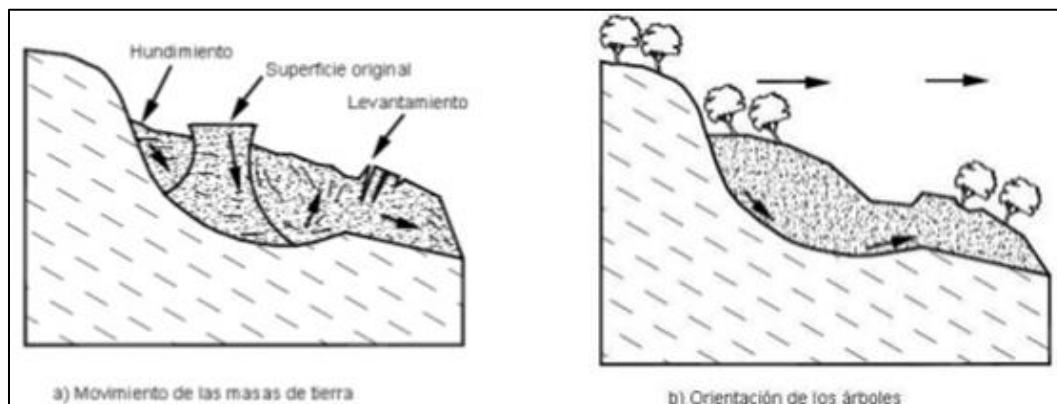


Figura 31 Características típicas del deslizamiento rotacional (Suarez Díaz, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, 1.998)

El eskarpe debajo de la corona es prácticamente vertical y carente de soporte, lo que permite la ocurrencia de nuevos deslizamientos que causen retrogresión a la altura de la corona. Al interior de un deslizamiento suelen presentarse otros deslizamientos que forman escarpes secundarios, lo que genera deslizamientos sucesivos en su origen, pero con zonas de deslizamiento independientes.

2.4.4.2 Deslizamientos Translacionales

En este tipo de deslizamiento la masa del terreno se desplaza hacia abajo y hacia afuera sobre una superficie más o menos plana o suavemente ondulada, con pequeños movimientos de rotación. (Figuras 32 y 33)

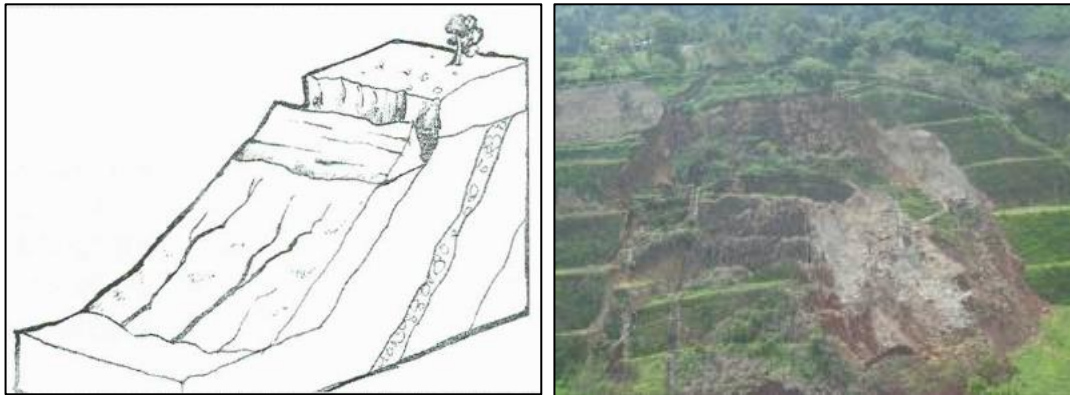


Figura 32 Deslizamiento Translacional (EIRD, s.f.) (ARQHYS ARQUITECTURA, s.f.)

A diferencia de los movimientos rotacionales, los deslizamientos translacionales no se auto estabilizan, por el contrario pueden progresar indefinidamente a lo largo de la ladera y son usualmente controlados por superficies de debilidad tales como fallas, juntas, fracturas, planos de estratificación y cambios en la resistencia al corte o por el contacto entre la roca y materiales blandos o coluviones. Este tipo de deslizamientos puede transformarse en un deslizamiento tipo flujo.

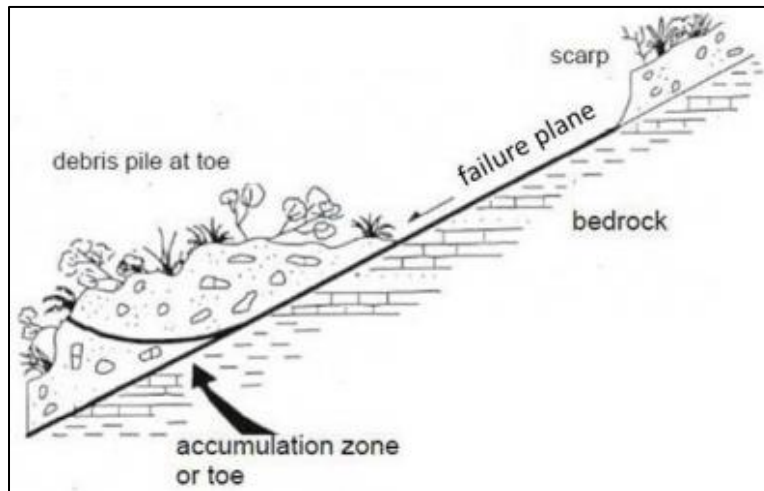


Figura 33 Elementos del deslizamiento translacional (Saldias, 2014)

2.4.5 Esparcimientos Laterales

Son movimientos de suelos cohesivos o rocas sobre materiales más blandos y deformables, lo que genera fracturas de corte y tensión fragmentando las capas superiores y ocasionando desplazamientos diferenciales (Figura 34). Estos tipos de fallas pueden incluir movimientos de rotación y translación, así como movimientos de tipo flujo, dependiendo de las características del material desplazado, y por lo regular se presentan de modo progresivo, es decir, inician en un área local para luego extenderse.

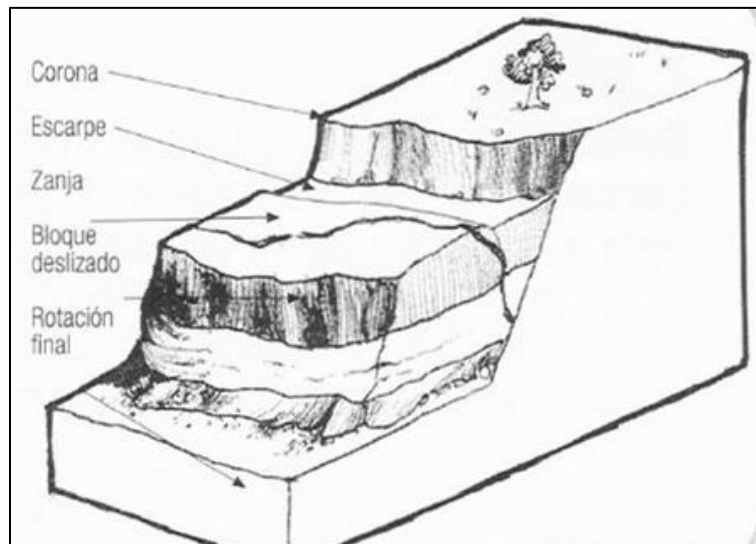


Figura 34 Esparcimientos Laterales (EIRD, s.f.)

Estos movimientos pueden presentarse en suelos rocosos sobre suelos plásticos, o también en suelos finos que al remodelarse pierden parte de su resistencia. (Figuras 35 y 36)

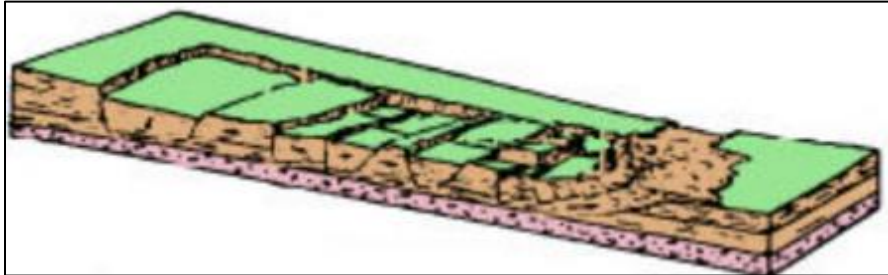


Figura 35 Separamiento lateral en suelo (Mora Chinchilla)

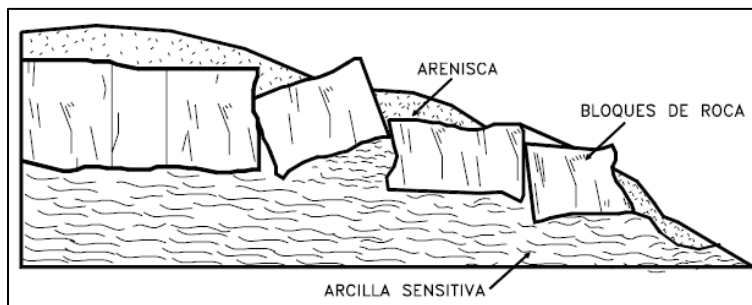


Figura 36 Separación lateral en roca (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998)

2.4.6 Flujo

Un flujo es un movimiento relativo de partículas o bloques pequeños dentro de una masa que se desplaza sobre una superficie de falla, cuya velocidad puede ser lenta o rápida y se asimilan al movimiento de un fluido viscoso. (Figura 37)

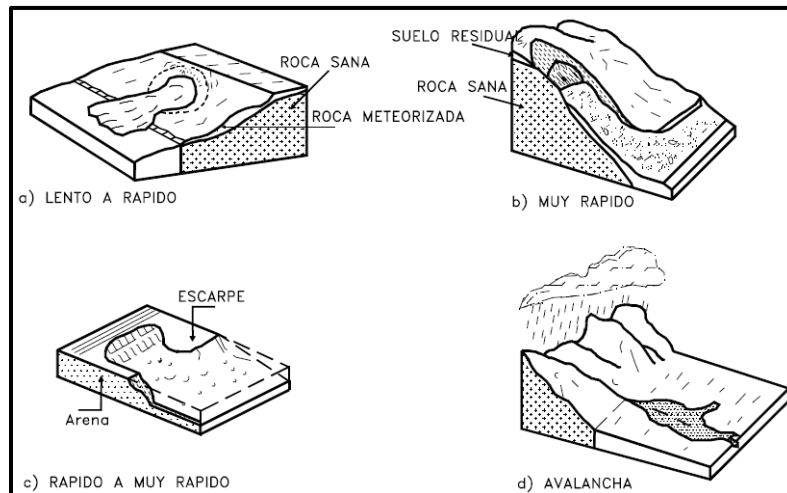


Figura 37 Flujos de diferentes velocidades (Suarez Díaz, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, 1.998)

La velocidad de los flujos es determinada por el tipo de material, por la topografía del terreno y las causas de alteración del mismo.

La ocurrencia de este tipo de deslizamientos está ligada, por lo general, a la saturación del material subsuperficial, ya que algunos suelos, al presentar alteraciones como fracturas o grietas, absorben agua muy fácilmente y al encontrarse saturados se genera la formación de un flujo.

Los flujos pueden agruparse en dos categorías: flujos de suelo y flujos de lodo. Los flujos de lodo son causados por materiales muy finos y altas humedades que en ocasiones pueden alcanzar el punto de ser suelos suspendidos en agua. Los flujos de suelo, a diferencia de los de lodos, pueden ser secos y más lentos de acuerdo a la humedad y pendiente de la zona de ocurrencia. (Figura 38)

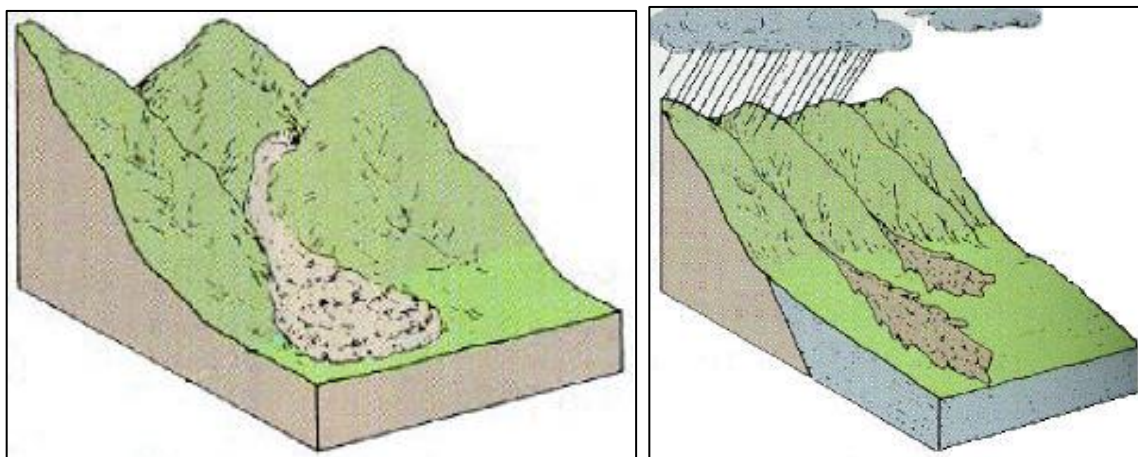


Figura 38 a) Movimiento de flujo de Detritos. b) Movimiento de flujo de lodo (Mora Chinchilla)

3 MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA LA PREVENCIÓN, ATENCIÓN Y REDUCCIÓN DE DESASTRES POR DESLIZAMIENTOS

Las medidas estructurales son aquellas obras de protección y control para la prevención y reducción de desastres mediante la intervención directa de la amenaza, en pro de impedir la ocurrencia de un desastre o controlar los efectos del mismo en el caso de que éste se presente. Para esto se requiere la elaboración de estudios detallados acerca de las características de los fenómenos y análisis de la fuente generadora de eventos peligrosos, los cuales permiten la concepción de obras de protección y control que puedan prevenir o mitigar los mismos.

Las medidas estructurales de prevención y reducción de riesgos son obras destinadas a la reducción del riesgo o la disminución del mismo a niveles “aceptables”. Este tipo de medidas pueden ser clasificadas de acuerdo a su impacto, es decir si las mismas son de prevención, elusión de la amenaza, control o estabilización, y la decisión de emplear alguna de estas medidas depende no solo de factores técnicos sino sociales, económicos y políticos.

Jaime Suarez Díaz realiza una clasificación de dichas obras conforme a su impacto, de acuerdo a la tabla 3. Para el presente documento, se expondrán las medidas catalogadas como de control y estabilización.

IMPACTO	METODO	
PREVENCIÓN	Disminución con medidas coercitivas	
	Planeación del uso del suelo	
	Códigos técnicos	
	Aviso y alarma	
ELUSIÓN DE LA AMENAZA	Variantes de relocalización del proyecto	
	Remoción total de deslizamientos	
	Remoción parcial de materiales inestables	
	Modificación del nivel del proyecto o	
	Puentes o viaductos sobre los	
CONTROL	Bermas	
	Trincheras	
	Estructuras de retención	
	Cubiertas de protección	
ESTABILIZACIÓN DEL TALUD	CONFORMACIÓN DEL TALUD O LADERA	Remoción de materiales de la cabeza del talud
		Abatimiento de la pendiente
		Terraceo de la superficie
	RECUBRIMIENTO DE LA SUPERFICIE DEL TALUD	Recubrimiento de la superficie del talud
		Conformación de la superficie
		Sellado de grietas superficiales
		Sellado de juntas y discontinuidades
		Cobertura vegetal, árboles, arbustos y pastos
	CONTROL DE AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRANEA	Canales superficiales para control de escorrentía
		Subdrenes de zanja
		Subdrenes horizontales de penetración
		Galerías o túneles de subdrenaje
		Pozos profundos de subdrenaje
	ESTRUCTURAS DE CONTECIÓN	Relleno o berma de roca o suelo en la base del deslizamiento
		Muros de contención, convencionales, de tierra armada, etc.
		Anclajes o pernos
		Pantallas ancladas
	MEJORAMIENTO DEL SUELO	Inyecciones de uso de químicos
		Magmificación
		Congelación
		Electro-osmosis
		Explosivos

Tabla 3 Clasificación de las medidas estructurales para prevención y mitigación de riesgo de deslizamientos

3.1 MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA EL CONTROL DE DESLIZAMIENTOS

Las obras ingenieriles para controlar la amenaza consisten en estructuras de retención de masas en movimiento, las cuales se construyen para detener los deslizamientos una vez han iniciado, es decir una vez se presenten manifestaciones de desplazamientos en el terreno, desde la aparición de grietas superficiales mínimas o deslizamientos menores, para disminuirlo y de esta forma evitar deslizamientos mayores en la superficie.

3.1.1 Bermas

El sistema de bermas es una forma de terraceo revegetalizado y con manejo superficial de aguas (cunetas) y son diseñados con una contrapendiente entre el 5% y 10% hacia dentro del talud. Son usados especialmente casos de caída de rocas, para los cuales se diseñan bermas anchas. Son usadas igualmente para aumentar los factores de seguridad en deslizamientos en suelos cohesivos. (Figura 39)

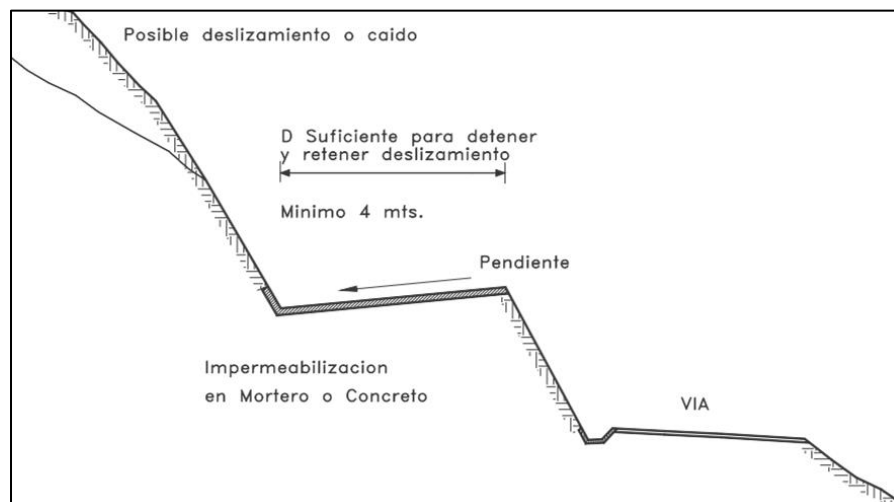


Figura 39 Estabilización por conformación del talud y bermas (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998)

3.1.2 Trincheras

Consiste en una excavación al pie del talud cuyo fin es contener el material caído para que el mismo no afecte las estructuras frente al mismo como por ejemplo una vía (Figura 40). El ancho y la profundidad de las mismas dependen de la altura y la pendiente del talud, pues si el mismo tiene pendiente superior a 75 grados el material caído permanecerá cercano a la superficie del talud para lo cual se requiere una trinchera de menor ancho. En caso de pendientes de 55 a 75 grados los caídos de roca tienden a saltar y rotar para lo cual se requiere una trinchera con unas dimensiones superiores. En el caso de pendientes de 40 a 55 grados se requiere adicionalmente una pared vertical que evite que los bloques traten de salirse de la trinchera.

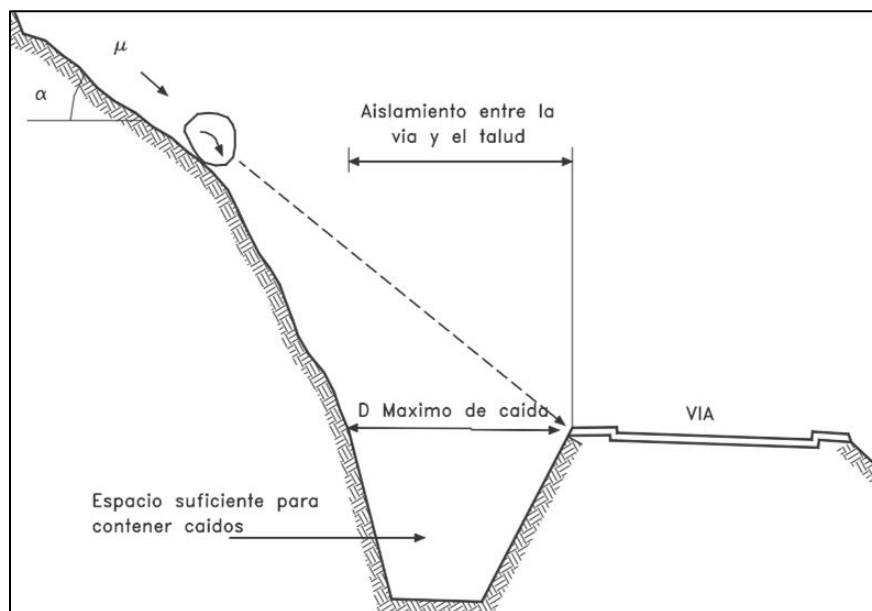


Figura 40 Trincheras para control de caídos (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998)

3.1.3 Cubiertas de protección

Son estructuras inclinadas a una determinada pendiente, que permite el flujo de los caídos o avalanchas por encima de ellas en taludes con pendientes pronunciadas.

Este tipo de estructuras son de concreto armado que requieren contemplar en su diseño las cargas de impacto y el peso de los materiales que posiblemente podrían pasar o retenerse sobre ella. (Figura 41 y 42)

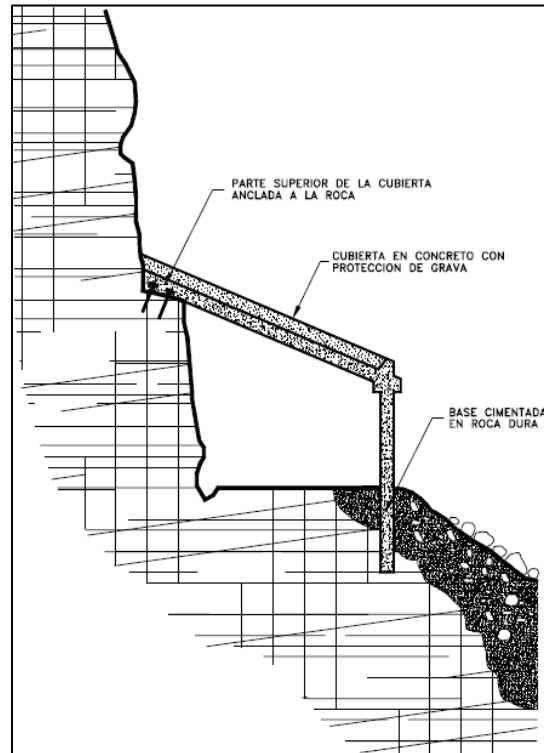


Figura 41 Cubierta de protección. (Suarez Díaz, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, 1.998)



Figura 42 Cubierta de protección para mitigar impacto de los bloques, Tuneles de Quebrada Blanca (Suarez Díaz, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, 1.998)

3.2 MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES

3.2.1 Protección de la superficie del talud

3.2.1.1 Concreto lanzado

Consiste en colocar una mezcla de cemento y agregados sobre el talud con el fin de evitar la infiltración y mantener el suelo parcialmente seco. Usualmente se instala una malla de refuerzo sobre el talud antes de lanzar el concreto. Es necesario construir huecos o lloraderos que permitan el drenaje y así evitar las presiones de poros. (Figura 43)

3.2.1.2 Recubrimiento en suelo cemento

Este método consiste en la aplicación de una mezcla conformada por suelo pulverizado, cemento y agua, y en algunos casos cal, la cual permite crear una superficie relativamente impermeable en la superficie del talud, disminuyendo la infiltración y mejorando las condiciones de permeabilidad del suelo. Es necesario que el terreno se encuentre libre de materia orgánica y raíces para su aplicación. Adicionalmente debe tenerse especial cuidado con la relación agua cemento, pues la misma debe garantizar la trabajabilidad de la mezcla, y en caso tal que dicha relación sea muy alta se produce un agrietamiento severo en el recubrimiento.



Figura 43 Concreto lanzado La Joya, Guatemala (PILOTECMAR, 2009)

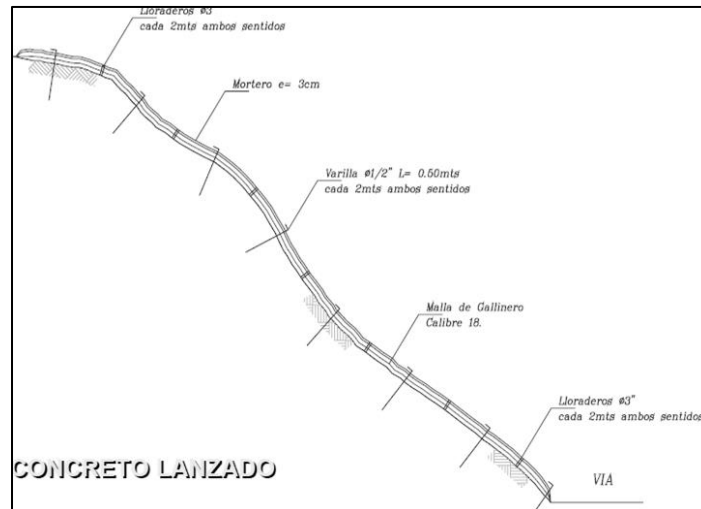


Figura 44 Estructura de concreto lanzado (SUAREZ DIAZ)

3.2.2 Modificación de la topografía

3.2.2.1 Abatimiento de la pendiente del talud

Consiste en disminuir la pendiente del talud haciendo que el círculo de falla sea más largo y profundo, incrementando así el factor de seguridad del mismo, mediante procesos de corte o relleno. (Figura 45)

Este tipo de medidas son viables tanto en taludes de poca altura como los de gran altura, siendo los primeros los más viables económicamente, puesto que en los taludes de gran altura es mejor optar por otras medidas ya que los volúmenes de tierra que requieren ser removidos son extremadamente altos.

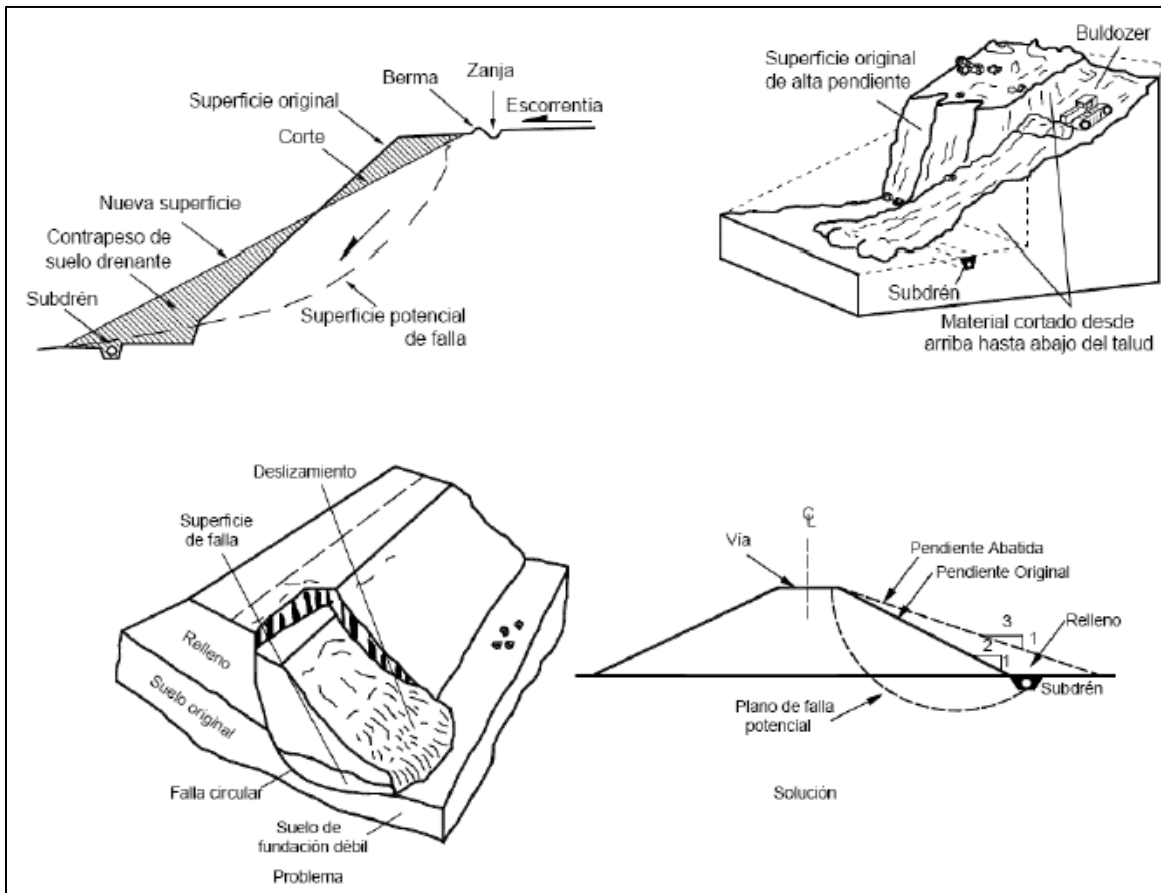


Figura 45 Abatimiento de la pendiente de un talud (Pineda)

3.2.2.2 Remoción de materiales de la cabeza

Este tipo de medida permite un equilibrio de fuerzas que mejora la estabilidad del talud, y son usados especialmente en fallas activas. La cantidad de material a remover de la cabeza del talud depende del tamaño y las características del movimiento, así como las características geotécnicas del terreno, y se calcula para un factor de seguridad estimado. (Figura 46)

Usualmente el material removido es usado para terraplenes en el mismo proyecto.

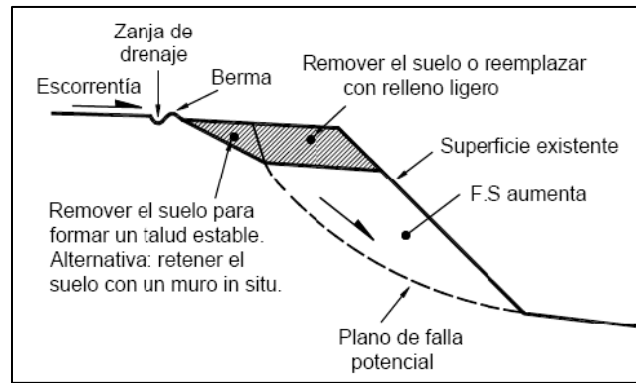


Figura 46 Efecto de la remoción de materiales de la cabeza de un talud (Pineda)

3.2.2.3 Terrazas o bermas intermedias

El objetivo de este tipo de obras es disminuir las fuerzas actuantes sobre el talud en la zona crítica para aumentar el factor de seguridad, construyendo terrazas en el talud dividiéndolo en varios taludes más pequeños, estables y con comportamientos independientes, cuyas alturas usualmente oscilan entre los 5 y 7 metros de altura, y van acompañados en la parte superior de una cuneta revestida para la recolección y control de las aguas superficiales, controlando así la erosión. (Figura 47)

Si las terrazas son construidas en la parte alta de un deslizamiento de rotación, es decir en un talud que ya está fallando, estas tienden a reducir el momento actuante y a controlar el movimiento.

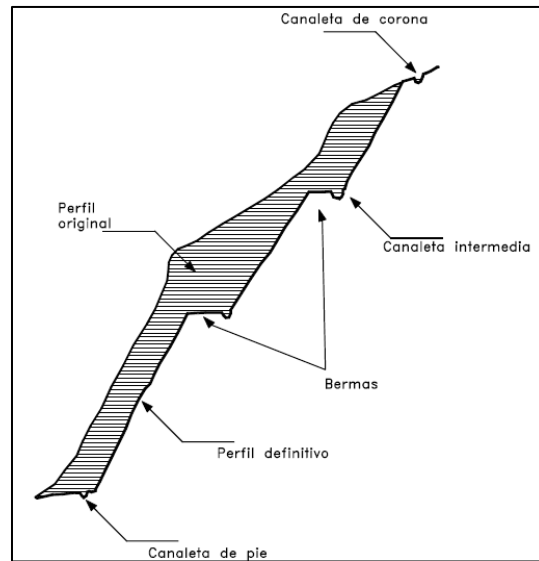


Figura 47 Estabilización por conformación del talud y bermas (Suarez Díaz, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, 1.998)

3.2.3 Control de aguas superficiales y subterráneas

3.2.3.1 Drenaje superficial

Los drenajes superficiales tienen como finalidad el manejo de las aguas de escorrentía del talud evitando la infiltración de las mismas al interior del talud y su posterior erosión. Estos sistemas de recolección de aguas deben captar las aguas de escorrentía y conducir las a un punto lejos de la zona de deslizamiento, e incluso, en lo posible, ser captadas antes de que ingresen a la zona de deslizamiento.

Adicionalmente, las aguas lluvias que caen directamente sobre el talud deben ser evacuadas con prontitud, antes de que las mismas generen daños por infiltraciones, erosión o almacenamientos, lo cual se hace mediante el sellado de grietas, empradización, recubrimiento del talud, entre otras.

3.2.3.1.1 Canales o zanjas de coronación

Se encuentran ubicadas en la corona o parte alta de un talud, y son utilizadas para captar y conducir las aguas lluvias de manera adecuada, evitando que las mismas pasen por el talud.

Deben ser construidas alejadas del borde superior del talud, con suficiente pendiente para garantizar un rápido drenaje del agua y deben ser totalmente impermeabilizadas. Requieren un mantenimiento habitual, ya que con el tiempo los taludes presentan movimientos que pueden causar grietas en el impermeabilizante, lo que generaría infiltraciones al terreno y una posterior disminución de la resistencia del suelo. (Figura 48)

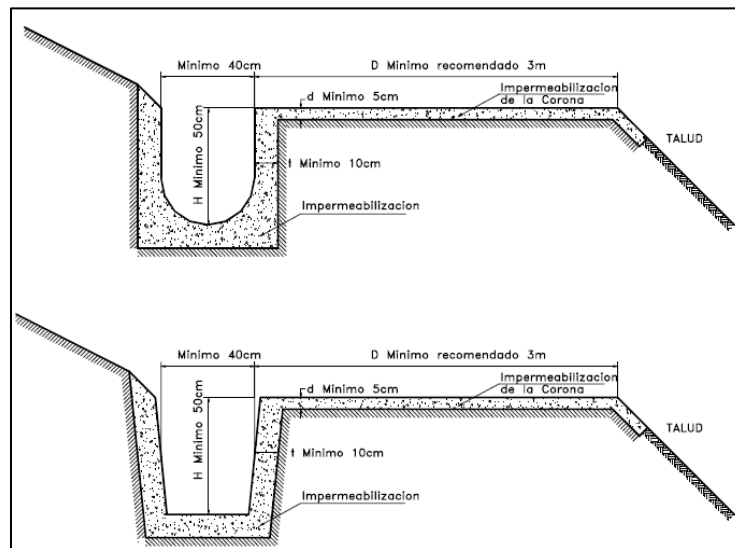


Figura 48 Detalle de zanjas de coronación para el control de aguas superficiales en un talud (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998)

3.2.3.1.2 Colectores en espina de pescado

Este tipo de canales suelen ser construidos para disminuir la infiltración en las áreas arriba del talud conduciendo las aguas colectadas hacia afuera de las áreas de posible deslizamiento, conduciéndolas a canales impermeabilizados y escalonados. (Figura 49)

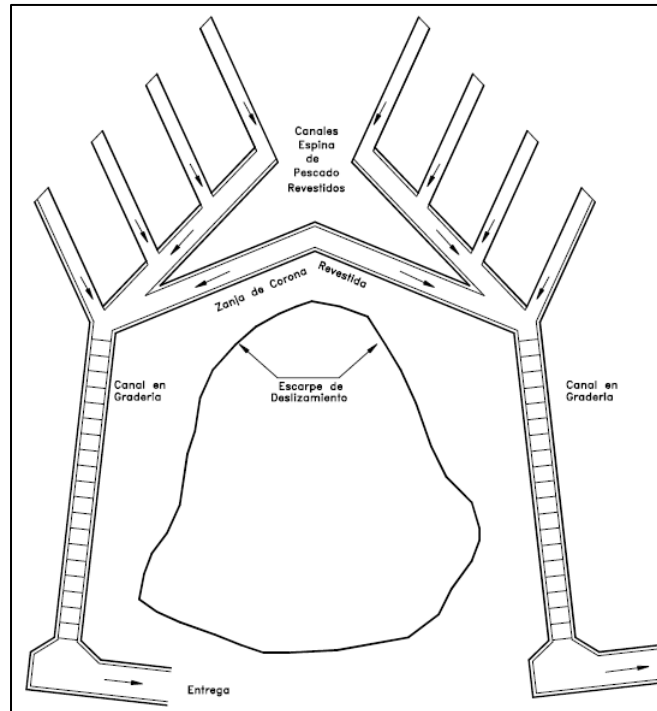


Figura 49 Esquema de canales colectores en espina de pescado (Suarez Díaz, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, 1.998)

3.2.3.1.3 Canales interceptores a la mitad del talud

Es recomendable construir estas estructuras en todas y cada una de las bermas intermedias de un talud, para conducir las aguas superficiales a graderías o estructuras de disipación de energía. Estos canales deben tener una pendiente suficiente que no permita la acumulación de sedimentos en el mismo. (Figuras 50 y 51)

3.2.3.1.4 Canales conectores y disipadores

Todos los canales de recolección de agua de un talud deben ser conducidos a canales con disipadores de energía que conlleven el agua a un sitio seguro fuera de la zona de posible deslizamiento. Este tipo de canales pueden clasificarse como rápidos o en gradería; los primeros tienen una pendiente igual al talud y en ocasiones tienen en su fondo elementos que sobresalen y ayudan a disipar la energía del agua, aunque en baja cantidad. Los sistemas de graderías son más

eficientes para este fin, puesto que el flujo en este tipo de estructuras es turbulento, lo que genera mayor disipación de energía. (Figuras 52 a 54)

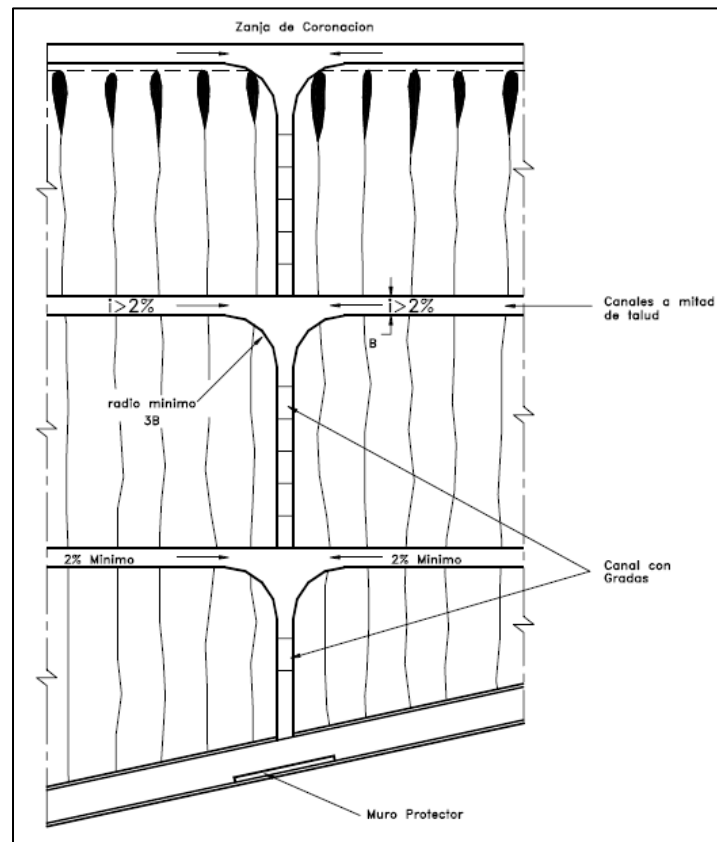


Figura 50 Esquema de entrega de canales interceptores a mitad de talud (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998)



Figura 51 La Cabaña, Manizales (Castaño Morales, Mora, Naranjo Henao, Naranjo Renaud, & Peralta Quintero, 2.011)

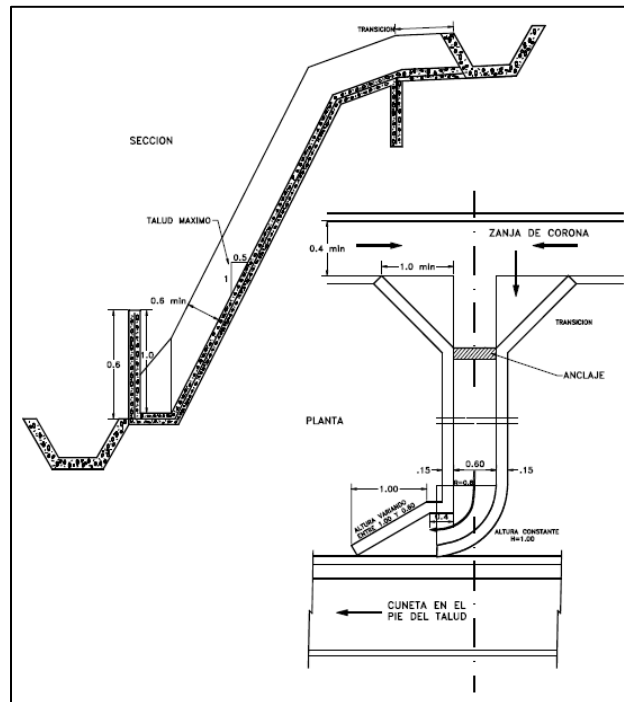


Figura 52 Detalle de un canal rápido (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998)



Figura 53 Canal con disipadores de energía tipo gradería (Suarez Díaz, DESLIZAMIENTOS TOMO II: TECNICAS DE REMEDIACIÓN, 2.009)



Figura 54 Canal con pantallas (Mejía Fernández)

Los canales en gradería requieren muros laterales con un borde libre suficiente que evite la salpicadura al terreno.

3.2.3.2 Drenaje subterráneo

Este tipo de estructuras tiene como fin disminuir la presión de poros y/o impedir que las mismas aumenten al interior del talud, recolectándolas mediante un sistema de subdrenaje. La cantidad de agua recolectada mediante este sistema depende del tipo de suelo, su permeabilidad y el gradiente hidráulico.

3.2.4.2 Drenes horizontales o de penetración

Son tuberías perforadas que se instalan a través de una masa de suelo mediante una perforación horizontal profunda ligeramente inclinada, con pendientes del 5 al 20% en el inicio y a medida que avanza la perforación se va disminuyendo, para garantizar el flujo del agua recolectada, con la cual se disminuye el nivel freático del terreno. (Figura 55)

Este tipo de estructuras son perforaciones aproximadas de 3 a 4 pulgadas en las cuales se instalan tuberías con pequeñas perforaciones que permiten el ingreso del agua. Generalmente se emplean tuberías metálicas, de PVC o de polietileno, con diámetros aproximados de 2 a 3", con perforaciones circulares o ranuras de aproximadamente 5 a 1.5 milímetros los cuales se encuentran a lo largo del tubo siendo aproximadamente 15 a 30 perforaciones por tubo. (Figura 56)

La longitud aproximada de estas tuberías es de 10 a 40 metros, dependiendo de la necesidad de drenaje de cada terreno, pero pueden emplearse tuberías más largas si la captación que se requiere es a profundidades mayores.

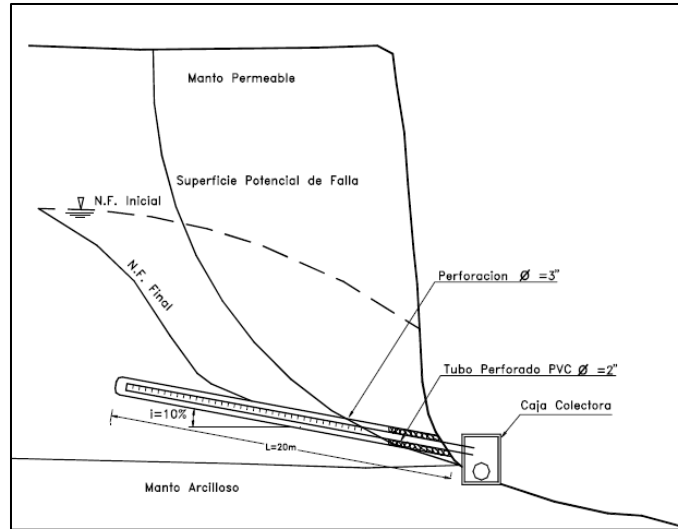


Figura 55 Esquema general de colocación de un subdren de penetración (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998)



Figura 56 Drenes horizontales (SUAREZ DIAZ)

3.2.4.3 Subdrenaje de estructuras de contención

Los muros de contención requieren de la construcción de un sistema de drenaje adecuado en su parte posterior, el cual debe estar diseñado para captar un flujo esperado sin generar taponamientos en los filtros. Para esto se puede emplear cualquiera de los métodos de manejo de aguas subsuperficiales mencionados anteriormente, y en el caso de los muros de concreto deben construirse lloraderos desde la altura de 30 cm desde el pie del talud hacia arriba, y con diámetros aproximados de 75 milímetros para evitar la presión de poros detrás de él. Estos lloraderos no pueden tener una separación superior a 1.5 metros. (Figura 57)

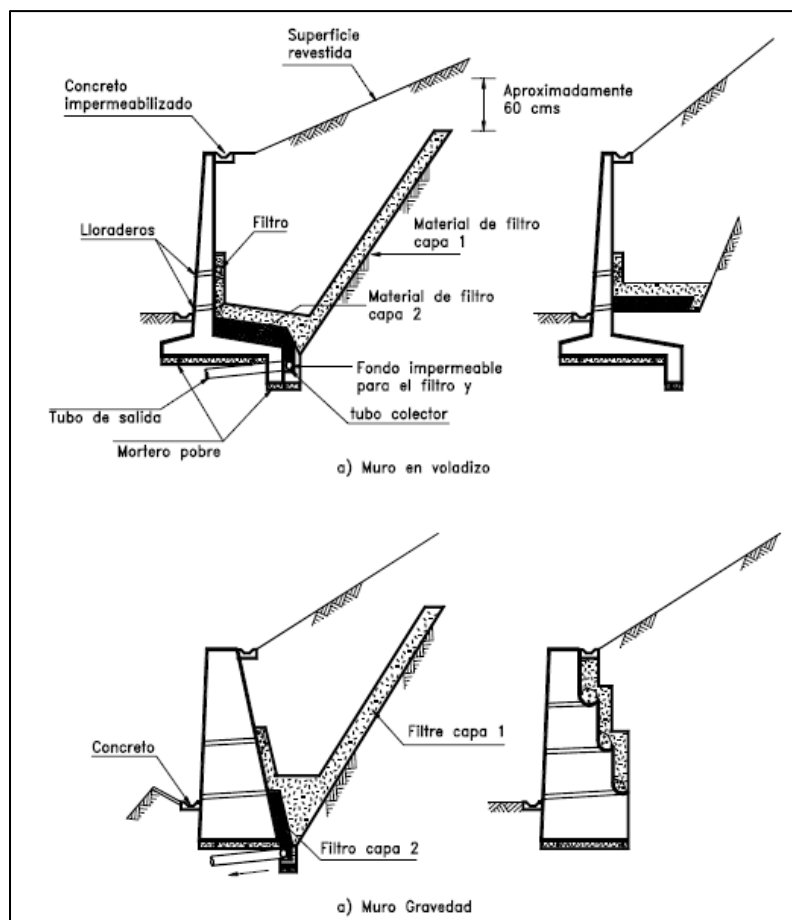


Figura 57 Subdrenaje en muros de contención (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998)

3.2.5 Estructuras de contención o anclaje

La finalidad de estas estructuras es soportar las fuerzas del material contenido y su transmisión de manera segura a la cimentación o a un área fuera de la zona probable de deslizamiento. Al momento de diseñar estas estructuras es necesario contemplar 2 condiciones de diseño: condición de talud estable o condición de deslizamiento, es decir, debe tenerse como precedente antes de diseñar si el talud se encuentra estable o si por el contrario existe riesgo de deslizamiento o hay un movimiento activo en el talud, esto para determinar las fuerzas de presión de tierra actuantes sobre la estructura.

3.2.5.1 Muros masivos rígidos

Consisten generalmente en estructuras en concreto que no permiten deformaciones significativas sin romperse. Actúan como una masa concentrada que contiene la masa inestable, siendo estas estructuras las más comunes de manejar y contener cortes y terraplenes, pero en algunos casos se han encontrado dificultades en los diseños de estas estructuras, puesto que las condiciones varían de manera significativa de un caso a otro en cuanto a las fuerzas reales actuantes sobre el muro en el momento de un deslizamiento, pues estos son diseñados mediante teorías de presiones como las de Ranking o Coulomb, mas no sobre valores únicos y exactos. (Figura 58)

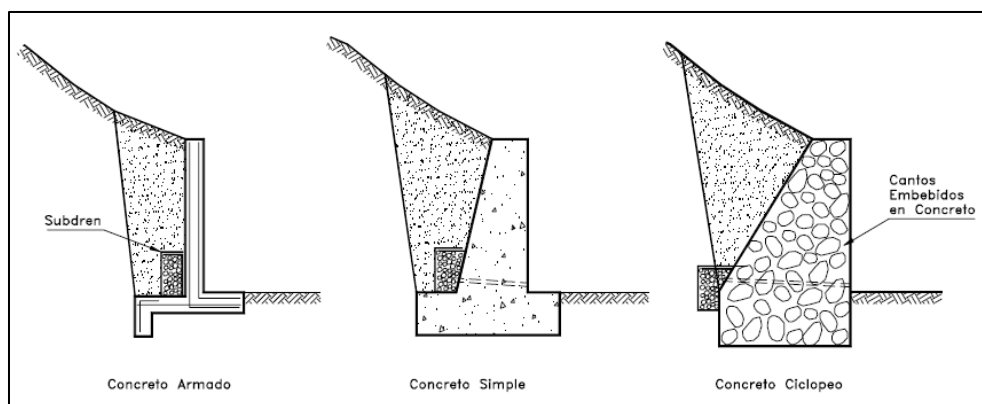


Figura 58 Muros Rígidos (Suarez Díaz, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, 1.998)

3.2.5.1.1 Muros en concreto reforzado

Estas estructuras resisten movimientos causados por la presión del suelo sobre el muro, el cual a su vez está apoyado en una cimentación por fuera del área inestable a la cual transmite dichas presiones. Usualmente las cimentaciones de estos muros poseen unas llaves o espolones de concreto bajo su base con los cuales se incrementa la resistencia al deslizamiento. (Figura 59)

Estos muros deben contar con un sistema de drenaje de aguas subterráneas adecuado como los mencionados anteriormente, que garanticen la salida de las aguas represadas detrás del muro disminuyendo la presión de poros en el suelo. (Figura 60)

Los muros en concreto reforzado pueden agruparse de acuerdo a su forma en (Figura 61):

- Muros empotrados o en Cantiliber
- Muros con contrafuertes
- Muros con estribos



Figura 59 Muro en concreto reforzado barrio Cabecera Sector Chmblum, Municipio de Condoto, Chocó (ALCALDÍA DE CONDOTO - CHOCÓ, 2011)

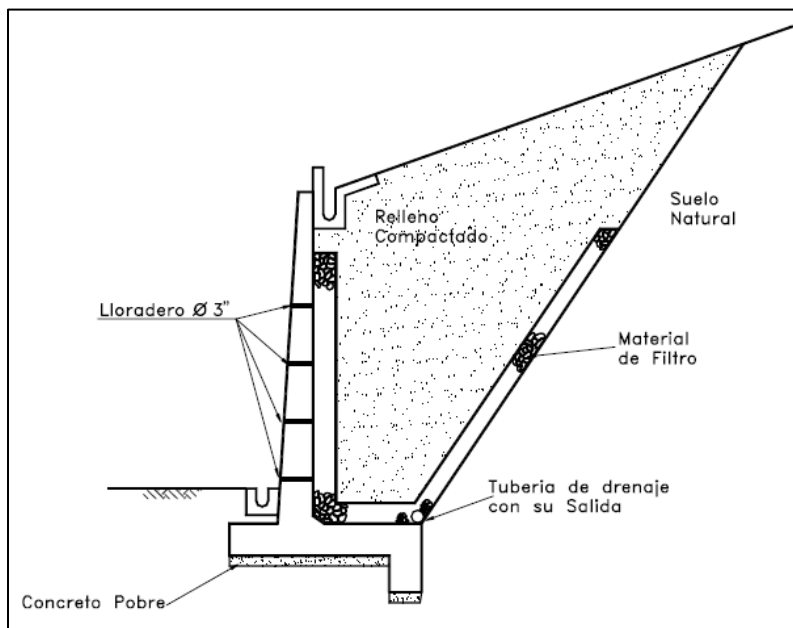


Figura 60 Esquema típico de un muro de contención en concreto armado con su sistema de subdrenaje (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998)

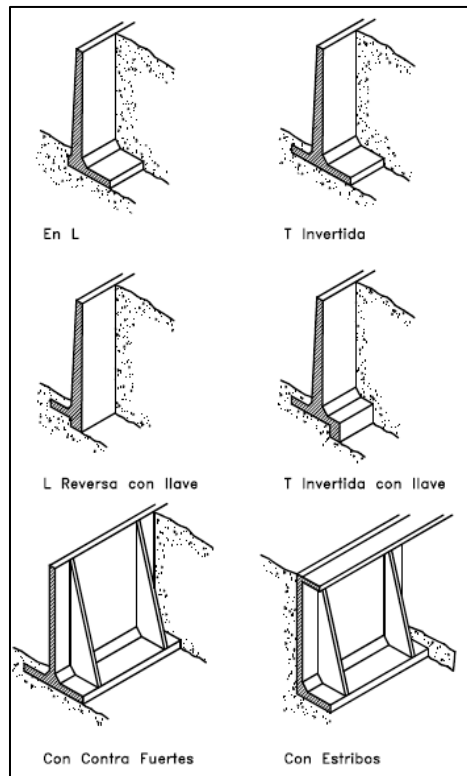


Figura 61 Tipos de muros en concreto reforzado (Suarez Díaz, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, 1.998)

3.2.5.1.2 Muros en concreto sin refuerzo

Son masas de concreto, simple o ciclópeo, relativamente grandes las cuales trabajan como estructuras rígidas que trabajan a peso o gravedad, y no se recomienda su uso en alturas superiores a 4 metros ya que no soportan esfuerzos de flexión y pueden presentarse grietas o roturas en la parte inferior del muro o al interior del cimiento.

Al igual que los muros en concreto reforzado, deben tener un sistema de drenaje para eliminar las presiones de agua en la parte posterior del muro. (Figura 62)

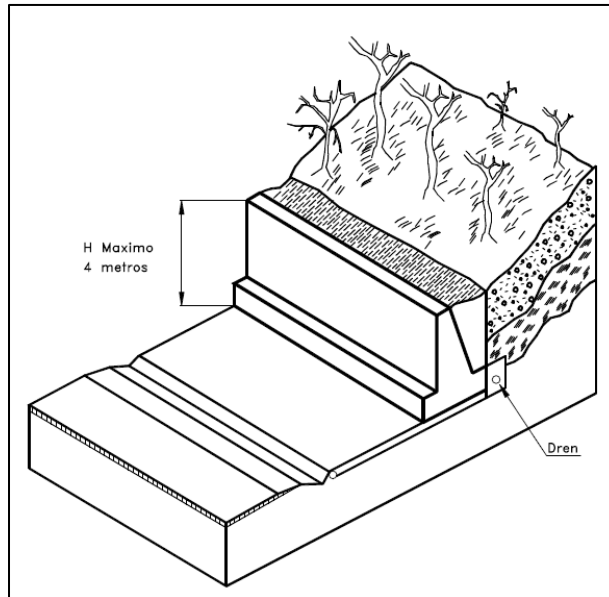


Figura 62 Muro en concreto sin refuerzo (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998)

3.2.5.1.3 Muros en concreto ciclópeo

Son muros construidos con mezclas que contienen aproximadamente 60% de concreto y 40% de volumen de piedra, teniendo en cuenta que a mayor cantidad de piedra mayor posibilidad de agrietamiento tendrá la estructura. En algunas ocasiones son reforzados con varillas de acero dentro del concreto para reforzar su resistencia interna.

3.2.5.2 Muros masivos flexibles

Son estructuras que permiten las deformaciones debido a las presiones ejercidas por el suelo o que se acomodan fácilmente a los movimientos del mismo. Son diseñados para resistir presiones activas y actúan como masas de gravedad. (Figura 63)

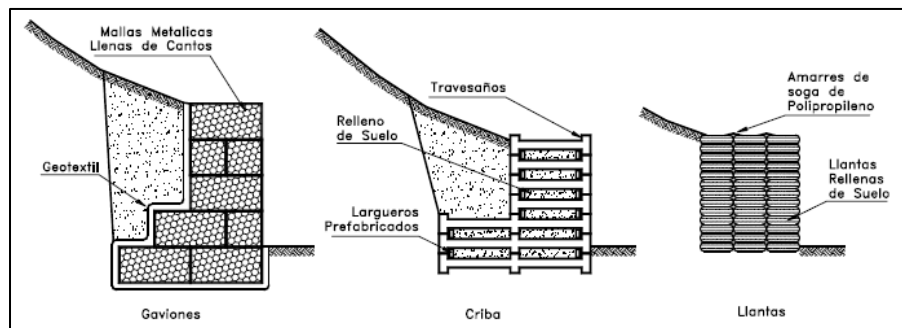


Figura 63 Esquema de muros flexibles (Suarez Díaz, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, 1.998)

3.2.5.2.1 Muros en gaviones

Son cajones de malla de alambre galvanizado, que pueden ser hexagonales, electrosoldadas o elaboradas simple, de dimensiones aproximadas de 2 x 1 x 1 metros, los cuales son rellenos de piedra. Son fáciles de construir y se emplean piedras disponibles en el sitio lo que los hace más económicos. (Figura 64)

Son estructuras flexibles y soportan asentamientos diferenciales mayores a los de otro tipo de muros. Pueden ser construidos sobre fundaciones débiles y son fáciles de reparar o demoler. En ocasiones se requiere que estos gaviones contengan contrafuertes que les permitan trabajar como estructuras ancladas al suelo. (Figura 65)

Entre las desventajas de este tipo de estructuras de contención se encuentran:

- Pueden presentar corrosión en suelos con pH inferior a 6 (suelos ácidos)
- Debido a su flexibilidad pueden presentarse deformaciones severas al interior del mismo que no permitirán que cumpla con su objetivo.
- Son estructuras permeables que permiten una infiltración cercana al 100% de las aguas lluvias y de escorrentía, por lo cual requieren que en la superficie de contacto entre el gavión y el suelo se coloque un geotextil no tejido y la construcción de un dren recolector en la cimentación del muro.



Figura 64 Muro en gaviones (INGENIERIA, 2015)

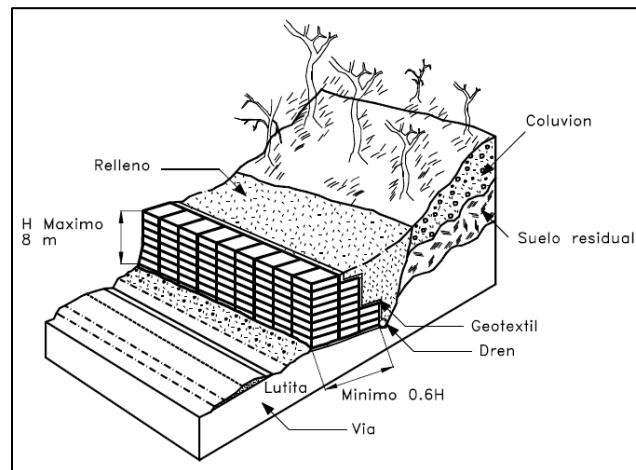


Figura 65 Esquema de muro en gavi6n (Suarez D6az, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998)

3.2.5.2.2 Muros criba

Son estructuras similares a una caja formada por elementos de concreto prefabricado entrelazados, cuyo espacio interno es relleno con materiales granulares permeables o con rocas para aumentar su peso y resistencia como un muro de gravedad. (Figura 66)

Se construyen haciendo uso de dos tipos de prefabricados que se colocan sobre la superficie del talud paralelamente o normal a este. Estos prefabricados pueden ser travesa6os que van normales al eje del muro en forma de I horizontal, o largueros que se apoyan sobre los travesa6os y que tienen como objeto contener el material

colocado dentro de las cribas (Figura 67). La transferencia de fuerzas en este tipo de muros se realiza entre los puntos de unión de los prefabricados.



Figura 66 Mina Cobriza, Perú (Alba Hurtado, 2015)

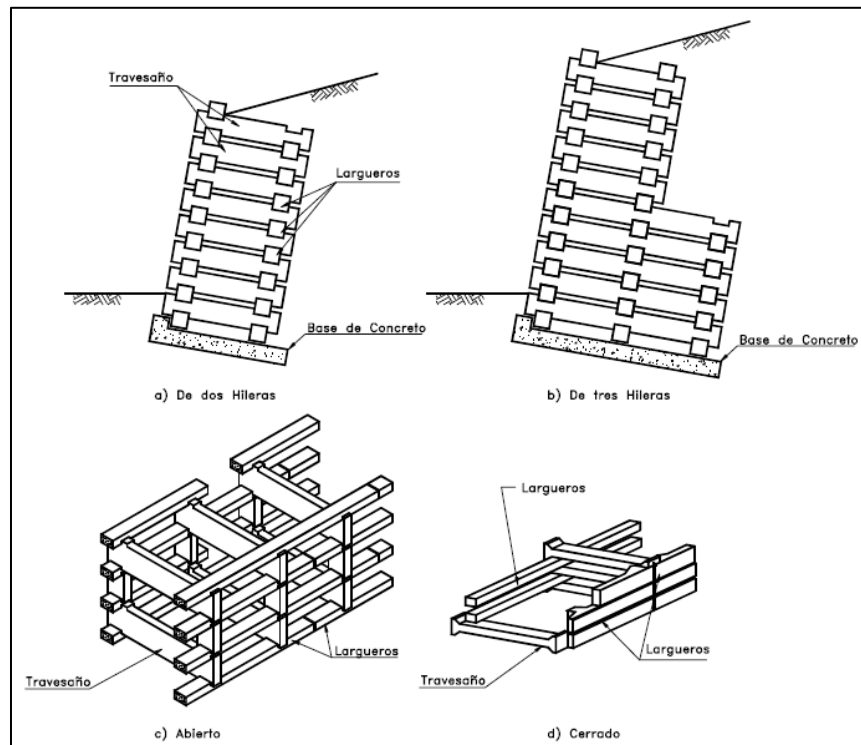


Figura 67 Esquema general de los muros de criba (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998)

3.2.5.2.3 Pedraplenes

Los pedraplenes o muros en piedra son construidos con bloques o cantos grandes de roca cuyo diámetro oscila entre 3 pulgadas y 1 metro, colocados unos sobre otros

manualmente o al volteo. El ancho de la base es superior o igual a su altura, el ancho mínimo en la parte superior es de 1 metro, y su ángulo de inclinación depende del tipo de roca utilizada. Es acostumbrado usar un geotextil en el área de contacto entre el pedraplen y el suelo y un subdren similar al usado en los gaviones. (Figura 68)

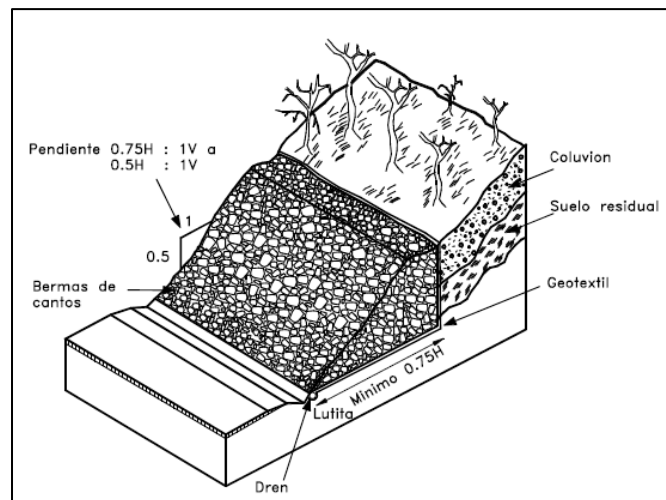


Figura 68 Muro en Piedra (Suarez Díaz, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, 1.998)

3.2.5.3 Muros en tierra reforzada

Este tipo de estructuras consisten en un relleno de suelos granulares con láminas de refuerzo metálicas o plásticas, las cuales son colocadas en capas durante el proceso de compactación de un terraplén con taludes de pendiente pronunciada (Figura 69). Estos refuerzos pueden ser construidos con materiales que permitan desarrollar tensión y la fricción entre el suelo y el elemento. (Figuras 70 y 71)



Figura 69 Muro en tierra armada Santander, Colombia (GEOMATRIX, s.f.)

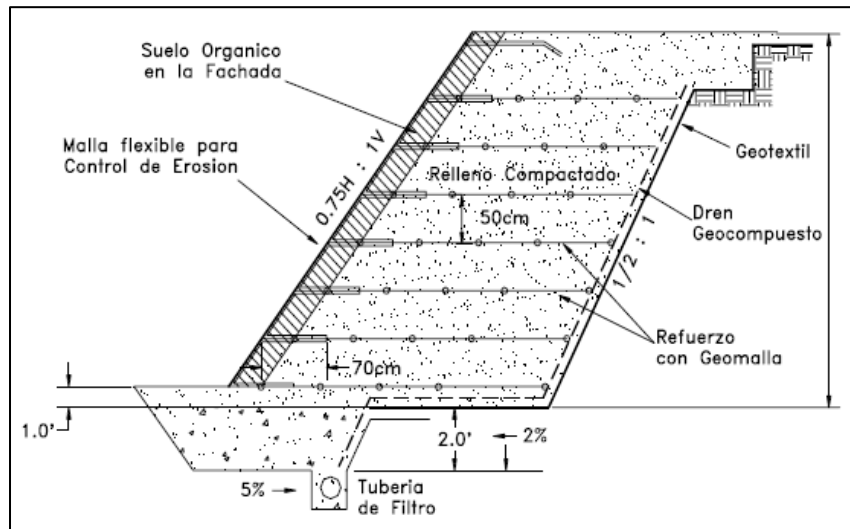


Figura 70 Esquema de estructura de contención de suelo reforzado con geomallas (Suarez Díaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1.998)

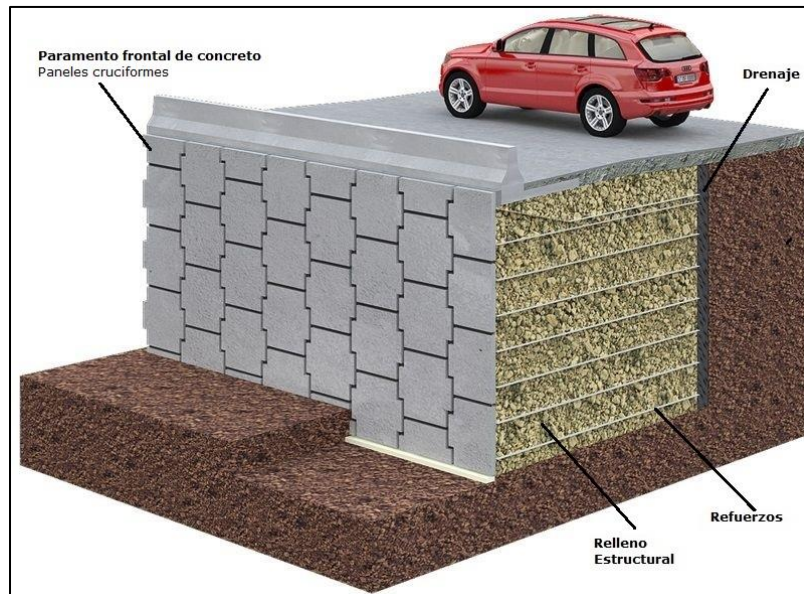


Figura 71 Esquema de estructura de tierra armada con cubrimiento frontal en paneles de concreto (TIERRA ARMADA Tecnología Sustentable, s.f.)

El material más usado para este tipo de obras son los geotextiles, los cuales requieren permanecer cubiertos con concreto, emulsión asfáltica o vegetación para impedir su contacto con los rayos UV ya que estos generan un deterioro progresivo en los geotextiles.

Actualmente las geomallas han venido desplazando a los geotextiles para este tipo de estructuras, ya que al estar armadas en dos direcciones tienen un mayor efecto de fricción y agarre dentro del suelo, lo que hace que estas tengan mejor resistencia al arrancamiento que los geotextiles.

Los materiales con los cuales se realiza el proceso de relleno deben ser capaces de desarrollar fricción y no contener material orgánico. Usualmente se utilizan materiales granulares pero cuando no se dispone de estos se utiliza arcilla o suelos residuales. En el caso que se utilice piedra triturada debe instalarse un refuerzo lo suficientemente grueso que impida su rotura.

Durante el proceso de construcción debe tenerse precaución al momento de compactar las capas de suelo, evitando deteriorar y romper los elementos de refuerzo, es decir el geotextil o la geomalla.

3.2.5.4 Estructuras ancladas

Son estructuras que se instalan dentro del terreno mediante perforaciones en las cuales se instalan elementos de tensión tales como cables o varillas las cuales pueden ser tensionadas posteriormente y se les funde una placa de concreto en su extremo para que con la fricción que existe con el suelo no permita su caída.

Este tipo de estructuras pueden ser usadas para prevenir el desprendimiento de bloques de roca en la cresta de un talud, instalar mallas de alambre galvanizado ancladas para evitar el desprendimiento de bloques de roca o material, impedir el deslizamiento de una zona suelta, entre otros. (Figura 72)



Figura 72 Muro anclado Girón, Santander, Colombia (Ardila, 2.011)

Los muros anclados incluyen pernos metálicos que ayudan a sostener los bloques de roca o suelo en situación de inestabilidad, reduciendo la relajación o desprendimiento de los mismos. Este tipo de medidas es recomendable realizarlas previo a la excavación o desestabilización del terreno.

Estos anclajes pueden realizarse de muchas formas, pero las técnicas más comunes son: con pernos individuales no tensionados, también conocidos como anclajes pasivos y los muros anclados tensionados o también llamados anclajes activos.

3.2.5.4.1 Pernos individuales no tensionados

Los muros anclados no tensionados o con anclajes pasivos están conformados por varillas de acero que se colocan dentro de una perforación en el terreno que posteriormente se rellena con inyecciones de cemento que permiten unir la varilla al macizo de roca, esto significa que el macizo de roca se refuerza por intermedio de la cabilla de acero. Este tipo de estructura suelen reforzarse con una malla de acero y concreto lanzado. (Figura 73)

Entre las principales ventajas de este tipo de estructuras tenemos:

- Es una técnica simple y de instalación relativamente rápida.
- Permiten la estabilización de bloques individuales o puntos específicos dentro de un macizo de roca.
- Son relativamente económicos.

3.2.5.4.2 Pernos individuales tensionados

Los muros anclados tensados o con anclajes activos, se construyen colocando dentro del macizo de roca, muy por debajo de la superficie de falla potencial, una serie de tirantes de acero anclados en su punta, posteriormente se coloca una

lámina o platina metálica sobre el terreno en la cabeza exterior del anclaje para fijarlo y permitir su tensado desde la parte exterior del muro mediante gatos. Estos anclajes generan unas fuerzas de compresión en el terreno que aumentan la fricción y reducen las fuerzas desestabilizantes. (Figuras 74 a 76)



Figura 73 Muro con anclajes no tensados mediante el uso de la técnica soil nailing (Yepes Piqueras, 2.014)

Los anclajes pretensados se colocan de tal forma que atraviesen las posibles superficies de falla del talud, anclando de esta forma los bloques propensos al deslizamiento a la roca sana que se encuentra detrás de la superficie de falla. Al tensionar los pernos o anclajes se transmiten una fuerza a la roca generando compresión y modificando los esfuerzos normales actuantes sobre la superficie de falla probable.

Estos anclajes deben instalarse con un ángulo tal que una fuerza resistente al movimiento del terreno, es decir un ángulo menor que a la normal a la superficie de falla.



Figura 74 Muros con anclajes tensados (NACIONAL DE PERFORACIONES SAS, s.f.)



Figura 75 Muro anclado en la barranca de Xonacantepec, Puebla. Proceso de tensado (TECSA, s.f.)



Figura 76 Muro anclado en la barranca de Xonacantepec, Puebla. Proceso de tensado (TECSA, s.f.)

4 MEDIDAS NO ESTRUCTURALES PARA LA PREVENCIÓN, ATENCIÓN Y REDUCCIÓN DE DESASTRES POR DESLIZAMIENTOS

Las medidas no estructurales comprenden aquellas acciones no físicas orientadas a educar, prevenir, legislar, mitigar, y atender riesgos actuales o futuros. Aunque aún son poco frecuentes, han venido jugando un papel fundamental en los procesos integrales de gestión del riesgo de desastres y son tanto o más eficaces que las medidas estructurales.

Estas medidas pueden ser activas o pasivas:

- **Medidas activas:** Son aquellas en las cuales se promueve la interacción directa con las personas, como por ejemplo:
 - ✓ La organización para atención de emergencias
 - ✓ El desarrollo y fortalecimiento institucional
 - ✓ La educación formal y capacitación

- ✓ La información pública y campañas de difusión
 - ✓ La participación comunitaria
 - ✓ La gestión a nivel local
- **Medidas pasivas:** Son aquellas más directamente relacionadas con la legislación (políticas públicas) y la planificación, como las siguientes:
- ✓ Códigos y normas de construcción
 - ✓ Reglamentación de usos del suelo y ordenamiento territorial
 - ✓ Estímulos fiscales y financieros
 - ✓ Promoción de seguros

Estas medidas no estructurales no requieren de significativos recursos económicos y en consecuencia son muy propicias para consolidar los procesos de reducción del riesgo en los países en desarrollo como Colombia. Conforme a la Guía Municipal para la Gestión del Riesgo de Colombia 2012, dichas medidas pueden clasificarse de acuerdo a su finalidad, es decir, pueden estar orientadas a reducir la amenaza o a reducir la vulnerabilidad.

Debido a que la gestión integral del riesgo requiere, principalmente, de la inclusión de políticas públicas para la prevención de desastres, Colombia ha desarrollado una amplia legislación orientada a la atención y reducción de desastres, pero principalmente a la a la prevención de los mismos.

Lamentablemente, dicha normativa se ha creado como consecuencia de eventos catastróficos a través de la historia del país como el terremoto de Popayán, la avalancha de Armero, el Deslizamiento de Villatina, avalancha del Rio Páez en el Cauca, Terremoto del Eje Cafetero, erupción del volcán Galeras y volcán nevado del Huila, las sequias generadas por el Fenómeno del Niño, así como las oleadas invernales con ocasión al Fenómeno de la Niña, entre los casos más representativos, pero como dice Jaime Suarez Díaz *“La experiencia es el mejor profesor y especialmente la experiencia de las fallas ocurridas”*.

Es así como en el año 1.984, se creó mediante el artículo 1 del Decreto 1547, el cual fue posteriormente modificado por el artículo 70 del Decreto 919 de 1.989, el Fondo Nacional de Calamidades

“Como una cuenta especial de la nación, con independencia patrimonial, administrativa, contable y estadística, con fines de interés público y asistencia social y dedicado a la atención de las necesidades que se originen en situaciones de desastre o de calamidad o de naturaleza similar”.

Posteriormente en el año 1.988 mediante la Ley 46 *“Por medio de la cual se crea y organiza el sistema nacional para la prevención y atención de desastres, se otorga facultades extraordinarias al presidente de la república y se dictan otras disposiciones”*

Se crea la oficina Nacional para la Atención de Desastres, así como el comité nacional, los comités regionales y los comités municipales para la Prevención y Atención de Desastres (CNPAD, CREPAD y CLOPAD respectivamente), y se ordena elaborar el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.

Desde ese momento, la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres elaboró el documento *Fundamentos y Acción Programática del Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres*, el cual fue acogido como parte integral del Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres adoptado mediante el Decreto 93 de 1.998, cuyos principales objetivos son:

- La reducción de riesgos y prevención de desastres
- La respuesta efectiva en caso de desastres
- La recuperación rápida de zonas afectadas

Las estrategias del Plan contemplaban programas para el conocimiento sobre riesgos de origen natural y antrópico, la incorporación de la prevención y reducción de riesgos en la planificación, fortalecimiento del Desarrollo Institucional, y la socialización de la prevención y la mitigación de desastres; es decir, su orientación principal era la implementación de las medidas no estructurales como conocimiento, educación y planificación para la prevención, atención y reducción de desastres.

Ya en el año 2.010, como consecuencia de una ola invernal que dejó al país más de 1.642.108 hectáreas afectadas, alrededor de 275.000 viviendas dañadas y cerca de 2 mil destruidas, y más de 1,6 millones de damnificados, se declara el estado de emergencia económica, social y ecológica en todo el territorio nacional mediante el Decreto 4580 de 2.010 debido, entre otros, *“Insuficiencia de las facultades gubernamentales ordinarias y necesidad de la adopción de medidas legislativas para conjurar la crisis e impedir la extensión de sus efectos”*(Considerando 3).

Posteriormente, en el año 2.011 se crea la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres - UNGRD (Decreto 4147 de 2.011) con personería jurídica, autonomía administrativa y financiera, con el fin que la misma sea la entidad encargada de *“...dirigir la implementación de la gestión del riesgo de desastres, atendiendo las políticas de desarrollo sostenible, y coordinar el funcionamiento y el desarrollo continuo del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres SNPAD”*. Desde ese momento dicha unidad ha velado por el fortalecimiento de las capacidades de las entidades públicas y privadas, y de la comunidad en general, en la prevención, atención y reducción de desastres a través del conocimiento, desde los aspectos técnicos hasta lo referente al ámbito social como la percepción del riesgo en las comunidades y su responsabilidad con la Gestión del Riesgo de Desastres, buscando de esta forma lograr un vínculo entre las instituciones y la comunidad que se traduzca en la disminución de las condiciones de riesgo y a su vez mejore la calidad de vida de las personas.

En el año 2.012 el gobierno nacional, en pro de fortalecer la gestión del riesgo en el país, adoptó la política nacional de gestión del riesgo de desastres mediante la ley 1523, la cual en su artículo 1° concibe la Gestión del Riesgo de Desastres como:

“Un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible”.

Desde este momento la gestión del riesgo se establece como una política de desarrollo como:

“Indispensable para asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos, mejorar la calidad de vida de las poblaciones y las comunidades en riesgo y, por lo tanto, está intrínsecamente asociada con la planificación del desarrollo seguro, con la gestión ambiental territorial sostenible, en todos los niveles de gobierno y la efectiva participación de la población.”(Art. 1°, Parágrafo 1°)

Es así como a partir de este momento se establece como política nacional la corresponsabilidad de las autoridades y los habitantes del territorio colombiano en los procesos de gestión del riesgo.

Adicionalmente, establece como instrumentos de planeación la elaboración de Planes de Gestión del Riesgo en los tres niveles de gobierno, es decir Nacional, Departamental y Municipal, así como las estrategias de respuesta a emergencias, y ordena la inclusión de los mismos en los planes de desarrollo y de ordenamiento territorial, y establece el riesgo de desastres como un condicionante para el uso y la ocupación del territorio; ya que en la ley 388 de 1.997, mediante la cual se ordenó la elaboración de los Planes de Ordenamiento Territorial, los escenarios de riesgo no se establecían como el principal condicionante para la ocupación del territorio

puesto que esta ley solo exigía la determinación y ubicación en planos de las zonas que presentaban alto riesgo para la localización de asentamientos humanos, pero no ordenaba la elaboración de normativa urbanística especial para condicionar el desarrollo de estas zonas, y así evitar la configuración de nuevas condiciones de riesgo.

Otro de los principales aportes de esta ley para la Gestión del Riesgo fue la inclusión del principio de subsidiariedad en su artículo 3° el cual hace referencia a la autonomía de las entidades territoriales para ejercer sus competencias, de esta manera la ley busca el apoyo en los procesos de gestión del riesgo así como la atención de desastres por parte de entidades territoriales y nacionales de mayor jerarquía a aquellas autoridades o comunidades de rango inferior y que no cuenten con suficientes recursos para estas situaciones, así como la posibilidad de que las mismas se abstengan de intervenir el riesgo y su materialización si es competencia de una autoridad de rango inferior cuando estas tienen los medios para hacerlo.

Aunque la gestión del riesgo de desastres en Colombia es aun superflua en comparación a países más desarrollados, es de resaltar el interés del gobierno nacional por fortalecerla mediante la inclusión de políticas públicas orientadas a la prevención y reducción de desastres desde la planificación del territorio y el conocimiento del riesgo, integrando autoridades y comunidad en procesos que minimicen no solo el impacto económico sino social que conlleva una situación de desastre que genera impacto en todos los ámbitos de una sociedad.

5 LA INTEGRACIÓN DE LAS MEDIDAS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES EN PROCESOS DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES POR DESLIZAMIENTOS EN COLOMBIA.

La gestión del riesgo debe comprender todas aquellas acciones correctivas y prospectivas, actuantes tanto en la amenaza como en la vulnerabilidad, que conlleven a la reducción de riesgo de desastres mediante la implementación de medidas estructurales y no estructurales de manera conjunta; para esto, es necesario partir del conocimiento de niveles de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, y sus factores detonantes, así como las consecuencias de los mismos, y de esta forma plantear las posibles intervenciones, estructurales y no estructurales, que de manera conjunta conllevaran a la disminución de un escenario de riesgo, aunque lamentablemente en muchas ocasiones se requiera de la ocurrencia de un fenómeno desastroso para orientar la atención a un escenario de riesgo y a la posterior ejecución de dichas acciones.

Como se puede analizar, la integración de las medidas estructurales y las no estructurales dan un aporte óptimo para la prevención y reducción de riesgos, ya que son acciones destinadas a mejorar la calidad de vida de los habitantes y a desarrollar un entorno más seguro; en donde la parte técnica, es decir instituciones, gobiernos, profesionales y entidades, van de la mano con los actores informales, las comunidades y sus experiencias, buscando así una retroalimentación sobre el escenario de riesgo que se busca mitigar, para que al momento en que dichas medidas se materialicen en acciones obtengan éxito, ya que serán acogidas y entendidas por parte de la comunidad y con un amplio soporte técnico que garantice su calidad y efectividad.

La Guía Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres, muestra mediante un esquema como la integración de las medidas estructurales y no estructurales se

integran como acciones prospectivas y/o correctivas para reducir la amenaza y/o la vulnerabilidad así (tabla 4):

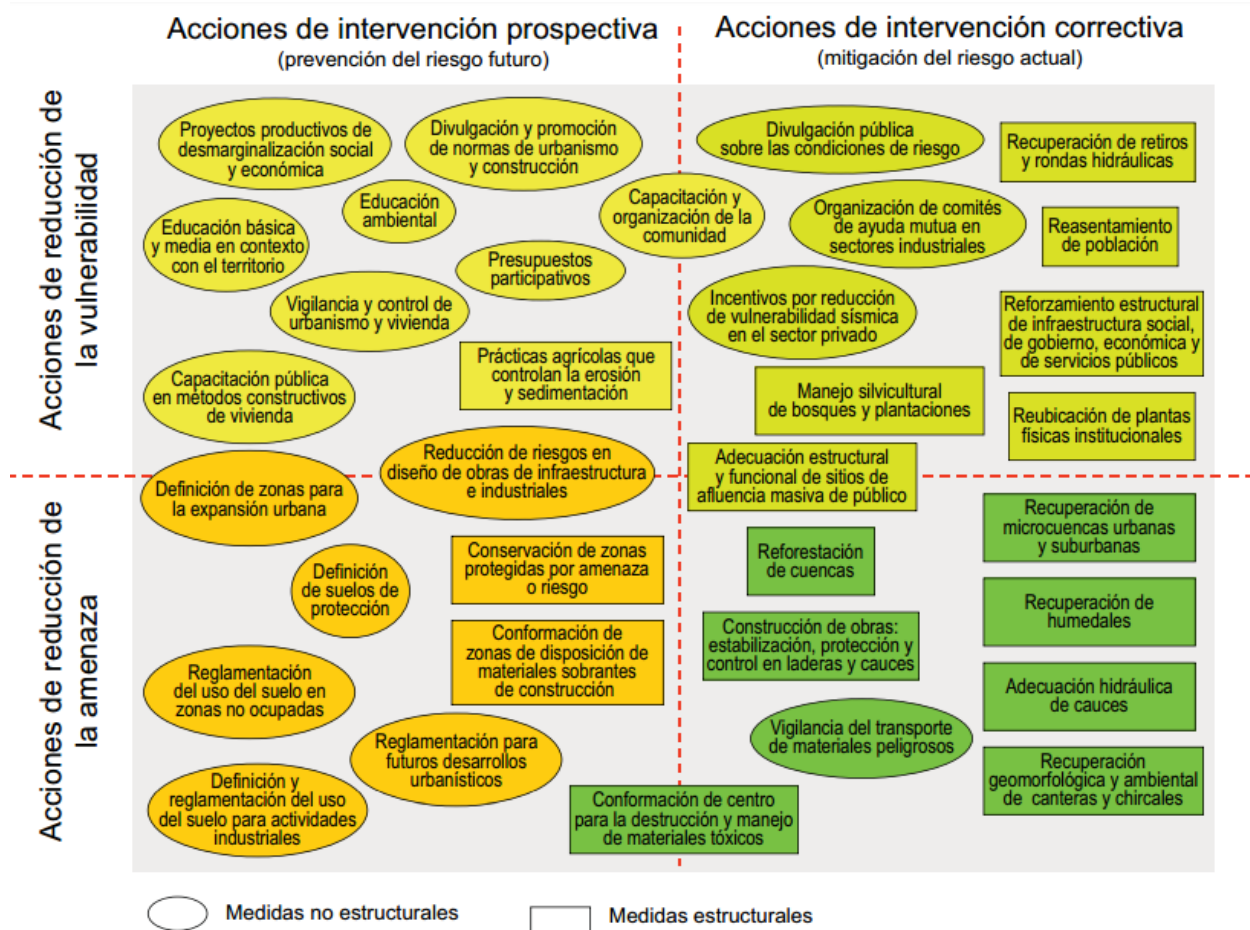


Tabla 4 Ejemplo de acciones de reducción del riesgo (Ministerio del Interior y de Justicia, 2.010)

Las acciones prospectivas son aquellas que en su análisis buscan visualizar futuros escenarios de riesgo y como incidirían una u otras medidas para la disminución del mismo. En este caso, la mayoría de las acciones son de tipo no estructural puesto que buscan evitar la aparición de nuevos escenarios de riesgo y el desarrollo seguro y sostenible de las comunidades a futuro, es decir, acciones orientadas a la planeación segura del territorio, la divulgación del conocimiento en riesgo, educación ambiental y normas urbanísticas, y la vigilancia y control por parte de las entidades encargadas para el cumplimiento de dicha legislación.

Las acciones correctivas por su parte, están orientadas a minimizar la vulnerabilidad, la amenaza y en general los daños que se presenten. Estas se conocen como medidas de mitigación del riesgo y comprenden en su mayoría medidas estructurales ya que buscan mitigar los riesgos existentes como lo son la recuperación de micro cuencas, estabilización de laderas y taludes, protección y adecuación de cauces, reubicación de la población, reforzamiento estructural de edificaciones, entre otras.

La integración de estas medidas en Colombia ha permitido de manera exitosa la reducción y prevención del riesgo de desastres por deslizamientos en diferentes comunidades bien sea posterior a un evento desastroso de gran magnitud en pro de evitar que el mismo genere un evento mayor, o en la prevención de aquellos riesgos latentes pero que aún no han ocasionado situaciones de desastre para prevenir los mismos. A continuación se presentan algunos de estos casos.

5.1 Casos de análisis

La lluvia es uno de los principales factores detonantes de los deslizamientos, pues genera la saturación de los suelos y conlleva a un cambio en las condiciones de estabilidad de los taludes, ya que modifica los coeficientes de cohesión y fricción del material, ocasionando que el mismo se comporte en ocasiones como un fluido. Adicionalmente, la erosión juega un papel fundamental en la estabilidad de los taludes y laderas, pues la exposición del suelo al perder su capa vegetal, genera movimientos en masa de mayor intensidad y por lo tanto mayores daños materiales e incluso mayor pérdida de vidas humanas.

La región andina colombiana es la más montañosa del país, por lo que es la región más susceptible a este tipo de eventos, pero adicional a la topografía de la región, el sobre pastoreo y la sobrecarga de cultivos han generado que estos suelos sobre utilizados sean más propensos a los deslizamientos como lo explicábamos anteriormente.

A continuación se presentan 3 casos de análisis: deslizamiento barrio El Poblado (Medellín-Antioquia), deslizamiento barrio La Sultana (Manizales-Caldas) y Mejoramiento Integral de Barrios MIB Quebrada Juan Bobo (Medellín-Antioquia). Los primeros dos casos corresponden a deslizamientos de gran magnitud ocurridos en épocas intensas de lluvia, localizados en el área urbana y con pérdidas de vidas humanas, lo cual se debe principalmente a la falta de planeación de los municipios al permitir el desarrollo de unidades de vivienda en zonas de ladera sin las medidas urbanísticas necesarias y sin el análisis detallado de la estabilidad de estos terrenos; y como una vez ocurrida la tragedia se implementan de manera integral medidas estructurales y no estructurales para la prevención y mitigación de riesgos futuros.

Posteriormente, en el caso de la quebrada Juan Bobo, se expone como, a modo de prevención, sin que se hubiese presentado una tragedia de gran magnitud como las anteriores, se implementaron medidas, estructurales y no estructurales, que integraron la participación del gobierno local, organizaciones comunitarias y vecinos, en pro de desarrollar un proceso de gestión del riesgo de manera integral, fortaleciendo las capacidades locales e individuales, involucrando a los ciudadanos en la planeación del desarrollo urbano; todo esto para mejorar el entorno y evitar la ocurrencia de desastres por deslizamientos en las zonas aledañas a la quebrada.

5.1.1 Deslizamiento Urbanización Alto Verde, en el barrio el Poblado, Medellín. Colombia



Figura 77 Escarpe del deslizamiento (LOPEZ, 2008)

El deslizamiento ocurrió en la región suroccidental del municipio de Medellín-Colombia. Durante el día 16 de noviembre de 2008, a las 6 a.m. se presentó un movimiento de masa de tipo rotacional con un volumen aproximado de 45.000 m³, el cual destruyó totalmente 6 viviendas que quedaron sepultadas, causando la muerte de (12) personas. El evento se produjo durante una época de alta pluviosidad, la cual fue calificada como la más crítica de los últimos sesenta años.



Figura 78 Daños causados por el deslizamiento al conjunto residencial de estrato 6 en el Poblado, Medellín. (LOPEZ, 2008)

5.1.1.1 Factores incidentes o detonantes del deslizamiento ocurrido en el barrio el poblado Urbanización Alto Verde

Una de las razones principales por las cuales se presentan ese tipo de tragedias se debe a la incapacidad de las autoridades de gobierno de hacer cumplir a los constructores las normas contenidas en el manejo ambiental, a nivel del manejo del suelo, cobertura vegetal y deforestación, por permitir la construcción en zonas donde los terrenos no son propicios para asentamientos humanos, como en este caso de la zona residencial Alto Verde en El Poblado que se ha ido construyendo desmesuradamente llevando a cabo la tala de bosques, taponamiento de quebradas, sus vertientes y cauces, en todas las laderas, con el fin de hacer casas y urbanizaciones en las partes más altas de la ciudad de Medellín.

Como causas detonantes del movimiento en masa se tienen las siguientes:

- En la tragedia pudo influir el deslizamiento a los caudales de agua subterránea que estaban justo debajo de las casas, y cuyo caudal pudo haber incrementado con la ola invernal que afectaba a Colombia desde abril de ese año.
- Los taludes que conformaban el costado posterior de la unidad residencial tenían alturas variables que alcanzaban hasta 18 m. Las condiciones que desencadenaron la tragedia corresponden al talud de máxima altura y 60° de inclinación.
- El aumento de los niveles freáticos sobre la vertiente del talud
- Infiltración superficial originada por la presencia de un tanque de tratamiento de agua cerca de la corona.
- La construcción inadecuada del talud e intervención antrópica en la parte alta de la ladera
- Las características geológicas y geomorfológicas de los depósitos de vertiente y de Suelos residuales derivados de dunita que cuando se

encuentran saturados de agua son altamente susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa de este tipo.

- No había conducción a un drenaje natural cercano, las tuberías no tenían capacidad insuficiente para evacuar dicho rebose

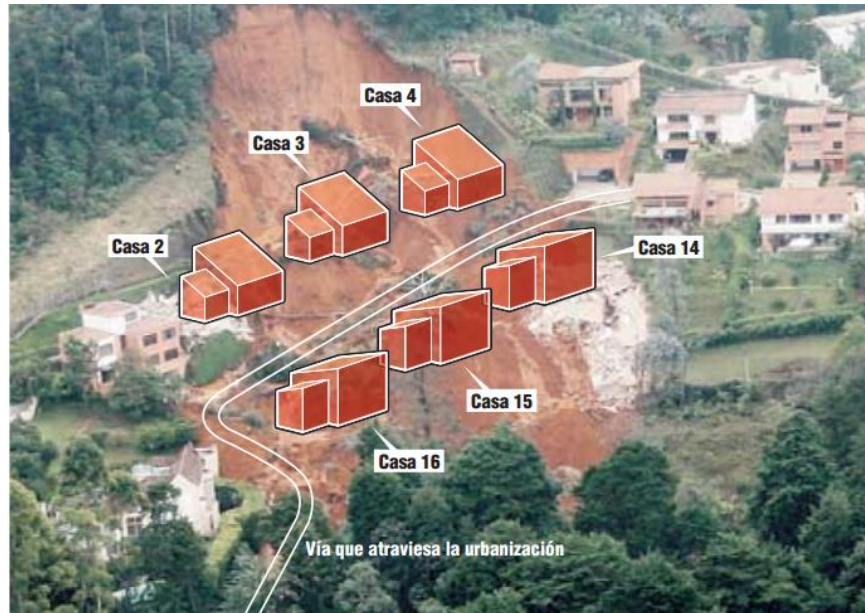


Figura 79 Recreación de cómo estaban ubicadas las seis viviendas con su respectiva vía de circulación de la urbanización afectada antes de la ocurrencia de la catástrofe. (LOPEZ, 2008)



Figura 80 Localización de la zona de deslizamiento sobre el área afectada. (LOPEZ, 2008)

5.1.1.2 Medidas estructurales implementadas

Las obras de mitigación se realizaron por parte del Municipio de Medellín, para obtener una pronta prevención y mitigación de riesgo de deslizamiento se hizo el control y estabilización del talud por medio de las siguientes medidas:

- El primer paso fue realizar la elusión de la amenaza por medio de la remoción parcial de materiales inestables. En este caso la remoción de materiales de la corona del talud para formar un talud estable. Esta medida permitió un equilibrio de fuerzas para mejorar la estabilidad del talud.
- Se perfiló con terraplenes la montaña que amenazaba con seguirse deslizando, con el apoyo de colchones de drenaje, ya que la función de estos es permeabilizar el terreno por medio de geotextiles gruesos.



Figura 81 Paralelo general antes y después de ejecutar las obras de estabilización (medidas estructurales) para la mitigación del riesgo por deslizamiento (LOPEZ, 2008)

- La conformación del talud se hizo mediante el recubrimiento vegetal de algunas partes de la superficie del talud y terrazas o bermas intermedias el

objetivo de esta medida fue disminuir las fuerzas actuantes sobre el talud en las zonas críticas, construyendo terrazas en el talud dividiéndolo en varios taludes más pequeños, estables y con comportamientos independientes, donde van acompañados en la parte superior de una cuneta revestida para la recolección y control de las aguas superficiales.

- Implementación del concreto lanzado sobre el talud con el fin de evitar la infiltración y mantener el suelo parcialmente seco con la ayuda de lloraderos que permiten el drenaje y así evitar las presiones de poros.
- Se implementaron estructuras de retención; en este caso se levantó un muro de contención (Muro en concreto reforzado) sostenido con 17 columnas, cada una con unas 57 varillas de buenas dimensiones para resistir los movimientos causados por la presión del suelo sobre el muro. Este muro cuenta con un sistema de drenaje de aguas subterráneas (lloraderos), para garantizar la salida de las aguas represadas detrás del muro disminuyendo la presión.



Figura 82 Localización en planta de las medidas estructurales implementadas para la mitigación del riesgo por deslizamiento después de la tragedia (LOPEZ, 2008)



Figura 83 Relación entorno y conjunto de medidas estructurales llevadas a cabo para la seguridad y confort de la zona residencial (vivirenel poblado, 2012)



Figura 84 Se observa el trabajo materializado que perfila cada espacio del terreno finalizando con el muro de contención y demás cortes. (vivirenel poblado, 2012)

5.1.1.3 Medidas no estructurales implementadas

Se implementaron aquellas acciones de aplicación legislativa de planificación y gestión, organización, información y comunicación, teniendo como finalidad disminuir los efectos de dicho evento. Después de la tragedia se ha ido forjando la creación de políticas y planeamiento urbano para desarrollar normativas que regulen el uso del suelo y el tipo de edificación en esta zona de Medellín ya que el afán de la construcción sobre estas laderas es megalómano y acelerado.

Medidas llevadas a cabo durante y después de evento:

- Se realizó la prevención durante y después de lo sucedido por medio de avisos y alarmas
- Al momento de la ocurrencia de la catástrofe se evacuaron las viviendas aledañas a la zona afectada hasta que se realizó la adecuación final del terreno afectado.
- Se realizó un constante monitoreo y seguimiento preventivo de la dinámica del deslizamiento para determinar nuevas amenazas en el sector.
- Se procedió a realizar estudios geotécnicos e hidrogeológicos en el sitio que determinaron el tipo de acciones que debieron realizarse para la estabilización definitiva
- Remoción de todo el material deslizado y adecuación del terreno según las recomendaciones de un estudio geotécnico e hidrogeológico que se realizó en el sitio
- En convenio con la Universidad Nacional de Colombia, el Municipio de Medellín, CORANTIOQUIA y el Municipio de Envigado, el Área Metropolitana realizaron el mapa de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales para todo el Valle de Aburrá, que permite identificar las áreas de mayor amenaza y vulnerabilidad de la región y las restricciones que deben imponerse a estos lugares para la ejecución de nuevas construcciones.

Las intervenciones implementadas en la zona del deslizamiento (medidas estructurales) y la elaboración de estudios para formular las políticas públicas correspondientes para la prevención de desastres futuros han sido exitosas ya que han contribuido a una planeación del territorio orientada a la prevención del riesgo, y han sido uno de los factores principales para que la administración municipal pueda reaccionar de manera oportuna y eficaz ante posibles escenarios de riesgo. Adicionalmente generó mayor conciencia en la comunidad ante las intervenciones que se realizan en la zona para la construcción de vivienda, contemplando ante todo la existencia de amenazas latentes, como los movimientos de remoción en masa en

el sitio, antes de iniciar cualquier tipo de construcción en la zona, así como en todo el Valle de Aburrá y diversos sectores de la ciudad, evaluando a fondo las posibles consecuencias de cualquier tipo de acciones urbanísticas a lo largo y ancho del territorio municipal.

5.1.2 Deslizamiento Barrio La Sultana, Manizales. Colombia

El barrio La Sultana está localizado al oriente de la ciudad de Manizales, en cuyo lugar se presentó uno de los deslizamientos más catastróficos ocurridos en toda la historia de la ciudad de Manizales, El Jueves 4 de diciembre de 2003, entre las 12 y las 12: 30 p.m. se manifestó un deslizamiento tipo traslacional en una zona que no era considerada crítica, alcanzando una longitud de recorrido de 120 metros con 15.000 m³. Dicho proceso de inestabilidad, afectó áreas del conjunto residencial Rincón de La Palma ubicado en la corona del talud y dos manzanas del barrio La Sultana, ocasionando la muerte de 16 personas; 6 casas completamente destruidas; 8 casas afectadas severamente; 2 casas afectadas moderadamente; y, finalmente, la destrucción de las obras de estabilidad en proceso de construcción en la corona del talud.



Figura 85 Escarpe del deslizamiento (Procolombia, 2014)

5.1.2.1 Factores incidentes o detonantes del deslizamiento ocurrido en el barrio la sultana

Este evento de inestabilidad se presentó de una forma súbita debido a las lluvias intensas lo que generó un sobrepeso al talud, sumándole la unidad urbanizada en la corona de la ladera, y como resultado de la fuerte intervención humana mediante cortes y llenos realizados. Entre los factores detonantes identificados se encuentran:

- Lo suelos que fallaron estaban compuestos por rellenos de ladera y de cauce, suelos orgánicos y cenizas volcánicas.
- El sector carecía de captación de aguas lluvias o residuales provocando así filtraciones.
- Aún no estaba adecuado el sitio para la urbanización Camino de La Palma. Este sitio estaba sometido a una erosión intensa ya que la quebrada localizada en el lugar fue llenada mecánicamente, dejando el lleno sin ningún tipo de protección en la parte inferior y con contacto directo del agua lluvia creando la erosión de este.
- La ladera no tenía tratamiento ingenieril



Figura 86 Secuencia de la construcción de medidas estructurales para la mitigación del riesgo por deslizamiento después de la tragedia (POSADA, 2012)

5.1.2.2 Medidas estructurales implementadas

Las obras de mitigación se realizaron por parte de CORPOCALDAS, recomendando las siguientes acciones y obras a fin de lograr la recuperación y protección ambiental de la zona de estudio y la protección de la vida de los habitantes. Como resultado del estudio se implementaron las siguientes medidas:

- La conformación del talud se hizo mediante el recubrimiento vegetal en toda la superficie del talud junto con terrazas o bermas intermedias el objetivo de esta medida fue disminuir las fuerzas actuantes sobre el talud en las zonas críticas, construyendo terrazas en el talud dividiéndolo en varios taludes más pequeños, estables y con comportamientos independientes, donde van acompañados en la parte superior de una cuneta revestida para la recolección y control de las aguas superficiales
- Se localizó en la parte alta de la ladera un sistema de Pernos individuales tensionados, acompañados de muros con anclajes activos. Estos anclajes generan unas fuerzas de compresión en el terreno que aumentan la fricción y reducen las fuerzas desestabilizantes.
- Se construyó un sistema de anclajes en las tres bermas superiores, los cuales se encuentran ubicados cada 4.0 ms. en sentido horizontal, al tresbolillo con respecto a los anclajes de las filas contiguas.

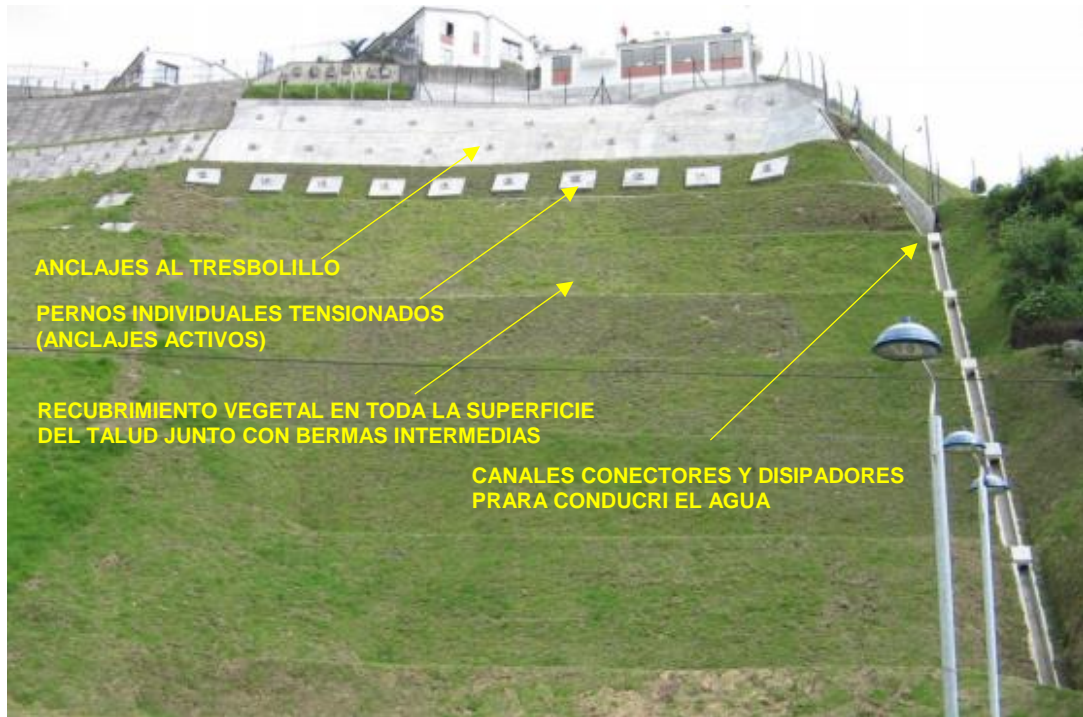


Figura 87 Se observa el trabajo materializado que perfila cada espacio del terreno haciéndolo menos pesado apoyándose con el manejo de aguas para la evacuación de estas (POSADA, 2012)



Figura 88 Localización en planta de las medidas estructurales en relación con las preexistencias (SULTANA, 2013)

- Se realizó un control del nivel de aguas freáticas mediante drenaje, manejo de las aguas de escorrentía mediante la construcción de un sistema de Canales conectores y disipadores ubicados cada 4.0 ms. aproximadamente en sentido vertical, conduciendo las aguas captadas a un canal.
- Se dio un manejo a las aguas subterráneas que entraron a hacer parte del sistema de alcantarillado.



Figura 89 Se observa cómo van relacionadas medidas estructurales y cómo funcionan en conjunto (POSADA, 2012)



Figura 90 Panorámica de la Sultana donde se puede observar el gran tamaño de la intervención de las estabilidades (SULTANA, 2013)

5.1.2.3 Medidas no estructurales implementadas

A partir de los estudios y análisis obtenidos del monitoreo del terreno para la estabilización de la ladera se sugirió implementar acciones de instrumentación, control, planificación, gestión, organización y comunicación de una serie de recomendaciones tanto para las autoridades como para los habitantes del sector, para crear conciencia de los posibles deslizamientos de la zona por las pendientes abruptas que presenta y por la actividad antrópica sin control sobre esta.

Medidas llevadas a cabo durante y después del evento:

- Se realizó la prevención durante y después de lo sucedido por medio de avisos y alarmas
- Al momento de la ocurrencia de la catástrofe se evacuaron las viviendas aledañas a la zona afectada hasta que se realizó la adecuación final del terreno afectado.
- Se realizó un mapa de usos del suelo sugerido para la zona de influencia de estudio donde se señalan las zonas urbanizadas, las zonas con tratamiento y de protección, las zonas reforestadas, estableciendo las zonas aptas para cada actividad.
- Con respecto a las obras de tratamiento de taludes se implementó un mantenimiento rutinario de limpieza y conservación de las obras de concreto y de las labores de conservación de la cobertura vegetal
- Se recomendó realizar un plan de contingencia para cortar el agua en forma rápida en la tubería y adicionalmente construir un dren paralelo con cajas de inspección que permita detectar cualquier fuga en la tubería; debiendo ser estas revisadas frecuentemente
- Se realizaron actividades donde informaban a la comunidad sobre la adecuada disposición de escombros y basuras para así no taponar las canales u obstruir el paso de las aguas

En este caso se observa como nunca se llegó a reconocer la existencia de una condición de riesgo y las medidas de regulación necesarias respecto de la ocupación del suelo sobre la ladera, en la cual anteriormente no se habían ejecutado medidas de mitigación.

A partir del desastre las entidades técnicas recomendaron acciones y obras a fin de lograr la recuperación y protección ambiental de la zona y la protección de la vida de los habitantes por medio de medidas no estructurales que determinaron paso a paso los métodos desde transmitir la información a la comunidad y evacuación de viviendas aledañas hasta establecer las medidas de regulación y ordenamiento para habilitar la ladera elaborando procedimientos para el control urbanístico respectivo con el apoyo de las obras de mitigación (intervención correctiva: obras físicas) para reducir el riesgo en dicha zona (Estableciendo actores y responsabilidades), tanto para la comunidad para crear sentido de pertenencia hacia las obras para mantenerlas sin obstrucciones y los actores formales para mantener en buen estado y en vigilancia las obras realizadas garantizando el buen funcionamiento de estas y así no volver a ser partícipe de un riesgo futuro, una zona urbana en donde se dejó clara la gestión del riesgo para permitir que el desarrollo prosiga incluso tras la recurrencia de un desastre.

5.1.3 Mejoramiento Integral de barrios sector quebrada Juan Bobo, Medellín. Colombia

La quebrada Juan Bobo se encuentra ubicada entre los barrios Villa Niza y Villa del Socorro en la zona Nororiental de Medellín, presenta una longitud de 600 m, con un caudal donde el 90% son de aguas negras, el entorno de esta quebrada estaba en condiciones de riesgo por deslizamiento debido a la saturación de las aguas lluvias y el rebose de la quebrada contras las paredes de los taludes sin ninguna protección, sumándole el paisaje de invasiones sin ningún tipo de planificación a su alrededor.



Figura 91 Entorno de la Quebrada Juan Bobo (Tirado, Ing. Carlos Ignacio Uribe, s.f.)

Por estas razones la quebrada de Juan Bobo y otras zonas hicieron parte de un proyecto piloto de recuperación ambiental llamado PROGRAMA DE MEJORAMIENTO INTEGRAL DE BARRIOS (MIB) con el objetivo de ser un instrumento de intervención urbana que abarca la dimensión de lo físico, lo social y lo institucional, para resolver problemáticas específicas sobre un territorio definido, colocando todas las herramientas del desarrollo de forma simultánea, generando viviendas de interés social localizadas en áreas con restricciones geotécnicas como una estrategia de gestión institucional y de habilitación de suelo frente a la ocupación informal en la ciudad de Medellín.

5.1.3.1 Factores incidentes o detonantes de la problemática en la quebrada Juan Bobo

Los eventos de inestabilidad que se presentaron alrededor de la quebrada fueron debido a los siguientes factores:

- El 100% del Alcantarillado era de tipo informal
- Se encontraba un total de 200 ml de taludes desprotegidos de hasta 7 metros de altura.

- Las viviendas ubicadas alrededor de la quebrada conformaban un hacinamiento situado sobre suelos poco consolidados, terrenos de fuertes pendientes sometidos a la erosión.
- La deforestación de las laderas llevada a cabo al momento de implantarse las invasiones las cuales ejercen un peso adicional sobre el terreno ya inestable y propendo a la erosión por no tener filtros naturales (vegetación).



Figura 92 Estado del entorno físico aledaño de la Q. Juan Bobo (Tirado, Ing. Carlos Ignacio Uribe, s.f.)



Figura 93 Entorno en alto riesgo por deslizamiento- Antes de la intervención (Tirado, Ing. Carlos Ignacio Uribe, s.f.)

5.1.3.2 Medidas estructurales implementadas

La solución generada para mitigar el riesgo de deslizamientos fue manejar el riesgo de raíz, el cual era el rebose de la quebrada con las paredes de los taludes desprotegidos, de ahí se continuó a consolidar las demás medidas de forma ascendente hacia las laderas (ladera baja, ladera media y ladera alta) de la siguiente forma:

Alta ladera:

- Re – densificación zona más estable geológicamente

Media ladera:

- Re – ubicación de viviendas afectadas por reordenamiento
- Construcción de obras de estabilización de suelo y mitigación del riesgo

Baja ladera:

- Liberación del cauce de quebrada
- Redefinición retiro normativo de 10 a 3 ml para ofrecer estabilidad a la ladera y protección
- Reubicación de viviendas precarias que ejercían un peso adicional a la ladera
- Ubicación de colectores alcantarillado

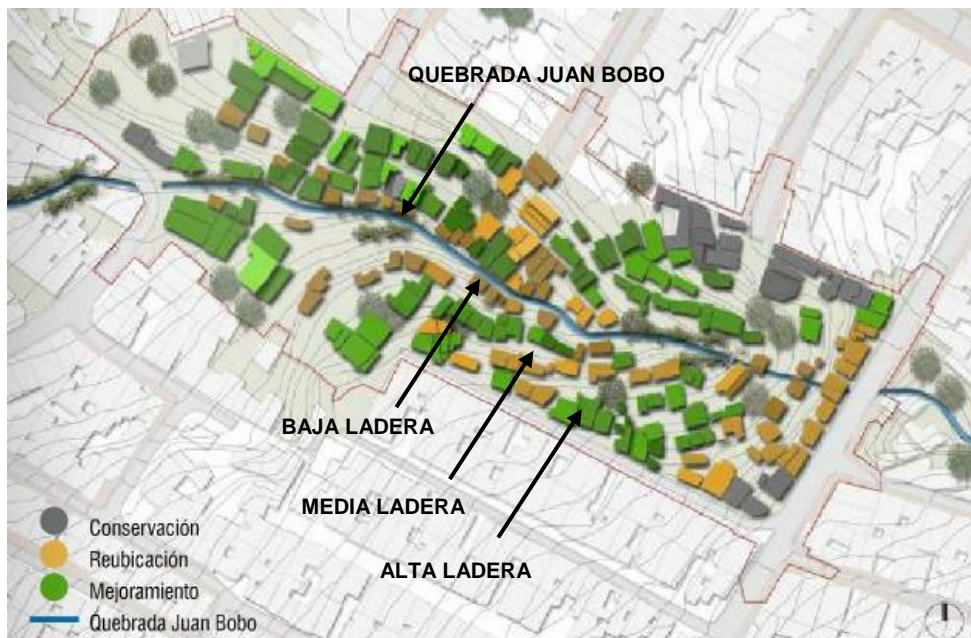


Figura 94 Estado de las viviendas a intervenir (EDU, 2007)

- Se crearon 2000 m² de áreas de protección como barreras naturales a futuras invasiones, logrando una recuperación de los suelos de altas pendientes saturados por las aguas.
- Se realizó una reubicación de 113 unidades de vivienda en zonas de alto riesgo no mitigables, para proceder a la rehabilitación de partes de las laderas saturadas por el peso.
- La mitigación del riesgo y estabilización de suelo se llevó a cabo por medio de muros de contención, realizando estos una doble función: el primero para detener masas de tierra y el segundo para generar sobre este unos corredores peatonales para los habitantes de las laderas. Con un total de 1.000 ml de Muros de contención para mitigación del riesgo estructural de la vivienda y estabilización del suelo y 1.500 m² de adecuación de bordes del cauce a ejes de accesibilidad peatonal.



Figura 95 Mejoramiento del entorno para mitigar el riesgo por deslizamiento en las laderas sensibles de la Q. Juan Bobo (Tirado, Ing. Carlos Ignacio Uribe, s.f.)

- Se instalaron tuberías (Drenes) perforadas a través de las masas de los suelos mediante perforaciones horizontales profundas ligeramente inclinadas

- Se realizó un proceso de inyección al suelo con productos químicos para mejorar la resistencia del mismo y reducir la permeabilidad, para bloquear el paso de agua por las discontinuidades en el talud.
- Se construyeron 2.700 ml en redes de alcantarillado y acueducto, para evitar la saturación del suelo por los vertimientos ilegales de aguas negras.
- Se realizó una recuperación ambiental de la quebrada redefiniendo un retiro normativo de 10 ml (4.000 m²) a 3 ml (1.200 m²) por parte de la autoridad ambiental.

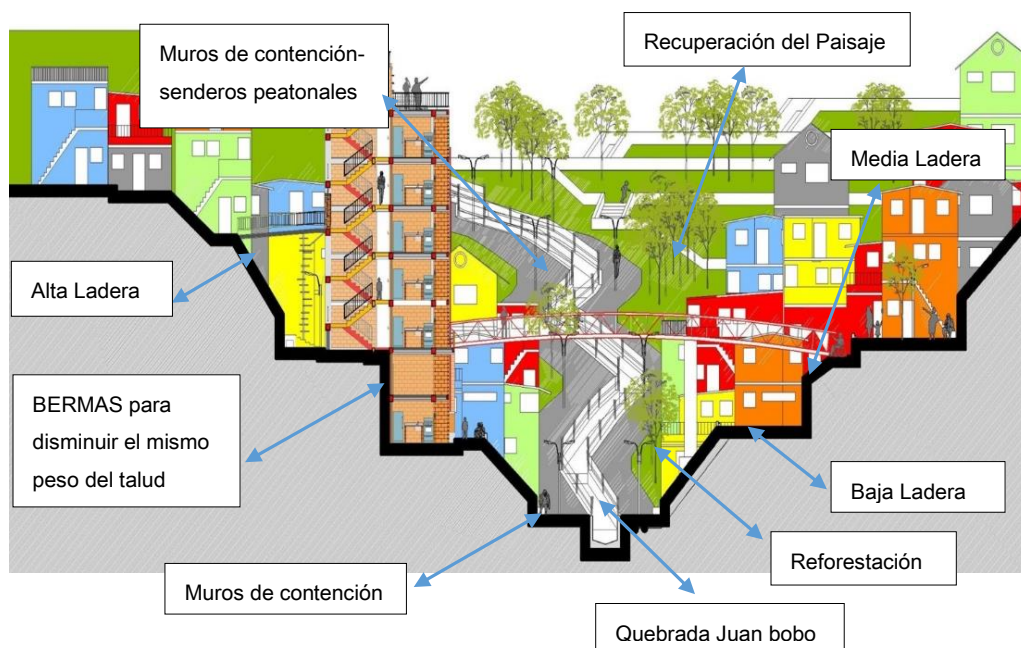


Figura 96 Perfil del entorno intervenido donde se relaciona, el paisajismo y las medidas estructurales llevadas a cabo (EDU, 2007)



Figura 97 Estado previo a la intervención, y Finalización del Entorno intervenido por las medidas estructurales llevadas a cabo para mitigar el riesgo por deslizamiento (Tirado, Ing. Carlos Ignacio Uribe, s.f.)

5.1.3.3 Medidas no estructurales implementadas

Estas medidas se materializaron gracias a una intervención que se planeó por etapas con proyectos prioritarios que focalizaron la inversión pública con la participación de los sectores privados, sociales y comunitarios.

Medidas llevadas a cabo durante y después del evento:

- Se llevaron a cabo una serie de programas Institucionales que proyectaban nuevos desarrollos habitacionales, reasentamiento de la población ubicada en

las zonas de más alto riesgo por deslizamiento, mejoramiento integral de barrios, mejoramiento de vivienda y un mejoramiento del entorno

- Se desarrollaron planes estratégicos para la recuperación ambiental en la quebrada Juan Bobo por medio de programas e itinerarios para realizar las actividades.
- Se incluyó en el POT y en el Plan Estratégico Habitacional de Medellín al 2020, directrices para sensibilizar a las instituciones sobre el tema de asentamientos no planificados sobre zonas de riesgo por deslizamiento.
- Se desarrollaron actividades con la comunidad de la zona sobre sensibilización, concientización, comunicación y enseñanza sobre el proyecto MIB a través de cuestionarios para obtener información más detallada sobre el entorno a intervenir, realizándose en mesas de trabajo, socializaciones, talleres imaginarios para la repartición de la información a los habitantes sobre la intención del proyecto.



Figura 98 Socialización con la comunidad sobre el proyecto Urbano Integral de la Quebrada Juan Bobo (EDU, 2007)

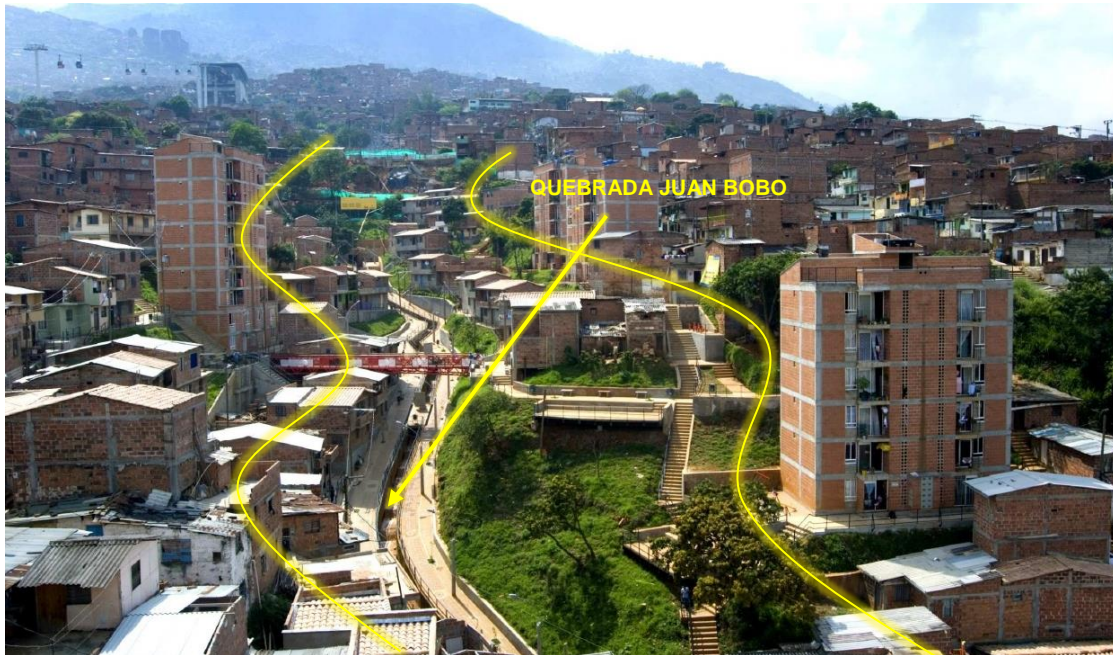


Figura 99 Proyecto Nuevo Sol de Oriente Juan bobo (EDU, 2007)

El programa MIB logro un éxito en la conjugación de ambas medidas en respuesta a las conclusiones de los estudios de detalle tanto de regulación urbanística (tratamientos urbanísticos, determinación de densidades, edificabilidad, ocupación) que restringieron y condicionaron el aprovechamiento urbanístico, definiendo las categorías de riesgo y los tipos de intervención y alcances en su reducción, donde los resultados se plasmaron en un mapa de zonificación de riesgo en áreas de riesgo bajo, medio y alto. Para finalmente concluir las medidas y planes de mitigación estructural (obras físicas) y no estructural (regulación).

Las físicas para que no se vuelva a superar la capacidad de carga del suelo ni generar nuevo riesgo por aumento de exposición complementada por las no estructurales en donde el trabajo con la comunidad fue constante por la relación estrecha de enseñanza, información de todo lo que se iba a realizar en el entorno, la implicación de la comunidad para trabajar en la construcción de las obras logrando así de que todos los entes entendieran la importancia de que ninguna medida estructural o no estructural debe ser un caso aislado sino que ambas son parte de intervenciones integrales.

CONCLUSIONES

- Los municipios en la formulación del POT deberían prohibir la ocupación y/o desarrollo de áreas que se definan como de riesgo no mitigable, a través de políticas públicas que promueven la planeación del territorio de manera segura para sus habitantes y el fortalecimiento de las instituciones, así como el fortalecimiento del conocimiento del riesgo en las comunidades, para que se establezcan áreas en condición de amenaza y/o riesgo donde se recomiende restringir o prohibir su desarrollo urbanístico para áreas en condición de riesgo, determinando y delimitando en la cartografía dichas áreas al desarrollo por condición de amenaza, y si es el caso definir acciones para reubicar asentamientos, infraestructuras, equipamientos localizados en estas áreas.
- A lo largo de la historia, los desastres han generado traumas en las ciudades, el clima extremo y cambiante, las emergencias provocadas por amenazas antrópicas, entre otros factores detonantes, están ejerciendo cada vez mayor presión en la población y en el desarrollo de las ciudades. Para atender cada uno de estos problemas se deben aplicar estrategias que integren aspectos técnicos y sociales, para hacer que las ciudades sean más seguras, gestionando la prevención de riesgos para evitar tragedias, y mejorar el entorno urbanístico de una población que vive en armonía con el entorno de forma más segura para sus habitantes.
- La inadecuada gestión de los recursos hídricos y la falta de un análisis de riesgo del sistema de alcantarillado y acueducto por parte de las entidades públicas y privadas, los convierte es un factor silencioso de deslizamientos urbanos.
- Se pueden evitar desastres que involucren pérdidas humanas y económicas con la implementación de las medidas estructurales, siempre y cuando se realice un debido mantenimiento de las mismas para certificar el adecuado funcionamiento.
- Se debe de tener claro y presente, siempre que se vayan a implementar estrategias para mitigar el riesgo, que para crear una buena gestión del riesgo a través de las medidas estructurales es necesario saber que, tanto científicamente como comunitariamente, todos los actores son igual de

importantes y responsables, tanto los formales como los informales porque dichos proyectos, diseñados y construidos por técnicos y especialistas, en caso de no ser aceptados, implementados y entendidos por los habitantes que van a coexistir con los mismos, no tendrán gran éxito, ya que para fortalecer una medida estructural se requiere de las medidas no estructurales; hacer un proceso previo de sensibilización, socialización, concientización y capacitación a la comunidad y las instituciones para que adquieran sentido de pertenencia y sientan que de alguna forma están siendo parte de una participación bien sea directamente o través de los representantes de las comunidades, hace que las personas se impliquen de manera más consistente y más proclives al esfuerzo y al sacrificio. Ya que si se tiene conocimiento de los peligros potenciales se puede obtener la auto-protección y la respuesta a las crisis y emergencias.

- La ejecución de las medidas estructurales dentro de un entorno vulnerable, pueden implicar un alto costo de inversión en el momento de la construcción, pero dicha construcción asegurara la mitigación de los efectos en un posible evento, actuando en la prevención del riesgo mas no en la atención del desastre.
- En control de deslizamientos se debe evitar al máximo los factores más incidentes en movimientos de remoción en masa, como lo son la deforestación del terreno, o las sobrecargas y tratar de conservar la vegetación existente, ya que esta hace parte de la solución del problema, puesto que la deforestación de las zonas de ladera, es una de las causas principales de los deslizamientos, ya que la vegetación es una manera eficiente y económica de prevenir y contrarrestar la erosión.
- Se deben tomar medidas para anticiparse a los desastres y mitigar su impacto, por medio del uso de tecnologías de monitoreo y alerta temprana para proteger la infraestructura, los bienes materiales y los habitantes.
- Todos estos esfuerzos del gobierno nacional por promover como se ha integrado la implementación de medidas estructurales y no estructurales de manera exitosa en los procesos de gestión del riesgo en Colombia, específicamente aquellos relacionados con deslizamientos, se han hecho mediante la planificación del territorio y la percepción el riesgo, donde se ha rendido frutos al

incluir a la comunidad como factor principal en la prevención de desastres mediante el conocimiento del riesgo y la preparación ante estos eventos, ya que gran parte del territorio colombiano, con comunidades establecidas en los mismos, se encuentra expuesto a una u otra amenaza.

BIBLIOGRAFÍA

- Fernando Cadavid. (4 de Junio de 2015). *www.vivirenelpoblado.com*. Obtenido de Fronteras visibles para atajar a Medellín: <http://www.vivirenelpoblado.com/periodico/fronteras-visibles-para-atajar-a-medellin>
- 20 MINUTOS. (27 de Julio de 2009). Obtenido de <http://listas.20minutos.es/lista/la-peor-catastrofe-de-colombia-127595/>
- (8 de Marzo de 2015). Obtenido de ALERTA CATASTROFES: <http://www.alertacatastrofes.com/volcan-etna-emite-20000-toneladas-diarias-dioxido-carbono/>
- Alba Hurtado, J. E. (23 de Junio de 2015). *Slide Share*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/loghan4390/soluciones-geotcnicas-en-estabilidad-de-taludes>
- ALCALDÍA DE CONDOTO - CHOCÓ. (27 de Agosto de 2011). Obtenido de <http://www.condoto-choco.gov.co/index.shtml?x=2871828>
- Arboleda G., E., García L., C., & Coupé, F. (2007). VILLATINA: ALGUNAS REFLEXIONES 20 AÑOS DESPUÉS DE LA TRAGEDIA. *Gestión y Ambiente* 2007 10(2).
- Ardila, O. (12 de Marzo de 2011). *PANORAMIO*. Obtenido de <http://www.panoramio.com/photo/57726425>
- ARQHYS ARQUITECTURA. (s.f.). Obtenido de <http://www.arqhys.com/arquitectura/deslizamientos-clasificacion.html>
- Calle, V. L. (18 de Noviembre de 2012). *EL ESPECTADOR*. Obtenido de <http://www.elespectador.com/noticias/judicial/ecopetrol-enfrenta-caso-homicidio-articulo-387781>
- Castaño Morales, A. M., Mora, A. E., Naranjo Henao, C., Naranjo Renaud, J., & Peralta Quintero, L. A. (Septiembre de 2011). Obtenido de <http://estabilidadtaludesgrupo1.blogspot.com.co/2011/09/estudio-estabilidad-de-talud-tramo.html>

- CIENCIAS SOCIALES HOY*. (marzo de 2011). Obtenido de <https://aquevedo.wordpress.com/2011/05/02/terremoto-y-tsunami-de-japon-marzo-de-2011/>
- Cortés Blanco, M. (13 de Septiembre de 2.010). *Manuel Cortés Blanco*. Obtenido de http://manuelcortesblanco.blogspot.com.co/2010_09_01_archive.html
- CUEVA DEL INGENIERO CIVIL*. (s.f.). Obtenido de <http://www.cuevadelcivil.com/2014/10/manual-de-gaviones.html>
- EcoGreen Construcciones*. (s.f.). Obtenido de <http://tumuro.com/muros-de-contencion/#!>
- EDU. (2007). Obtenido de https://issuu.com/urbameafit/docs/medell_n_modelo_de_transformaci_n
- EIRD*. (s.f.). Obtenido de <http://www.eird.org/deslizamientos/pdf/spa/doc14987/doc14987-2a.pdf>
- El Día*. (29 de Septiembre de 2.014). Obtenido de <http://eldia.com.do/el-40-por-ciento-poblacion-rd-vive-en-situacion-vulnerable-segun-la-cruz-roja/>
- EL DIARIO DE IRENE*. (17 de Noviembre de 2013). Obtenido de <http://el-diariodeirene.blogspot.com.co/2013/11/la-peor-catastrofe-en-colombia.html>
- EL MUNDO*. (3 de Diciembre de 2014). Obtenido de <http://www.elmundo.es/internacional/2014/12/03/547db7aa22601d1c4c8b4598.html>
- El Universal. (11 de Septiembre de 2.014). *El Universal*. Obtenido de <http://www.eluniversal.com.co/multimedia/galerias-de-fotos/trece-anos-de-una-tragica-historia-los-atentados-del-11-de-septiembre>
- Foschiatt, A. M. (s.f.). *Facultad de Humanidades Universidad Nacional del Nordeste*. Obtenido de <http://hum.unne.edu.ar/revistas/geoweb/Geo2/contenid/vulner1.htm>
- GEOMATRIX*. (s.f.). Obtenido de <http://geomatrix.com.ec/en/experiencias/>
- GMGRColombia. (2012). *Proyecto de Asistencia Técnica en Gestión del Riesgo a Nivel Municipal y Departamental en Colombia*. Obtenido de Guía Municipal para la Gestión del Riesgo: <http://www.gestiondelriesgo.gov.co/snigrd/archivos/GMGRColombia.pdf>
- Gonzalez de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2004). *INGENIERIA GEOLOGICA*. MADRID: PEARSON EDUCACION. S.A.
- GUIDORIOSCIAFFARONI*. (2104). Obtenido de http://guidoriosciaffaroni.blogspot.com.co/2014/11/cueva-del-ingeniero-civil_14.html
- Hermelin, M. (2005). *Desastres de Origen Natural en Colombia 1979-2004*. Medellín: Universidad EAFIT.
- Ibañez, J. J. (18 de Agosto de 2009). *MADRIMASD*. Obtenido de <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2009/08/18/123369>

- INGENIERIA. (14 de Septiembre de 2015). Obtenido de <http://www.ingenieria.work/manual-de-gaviones/>
- ISDR. (2009). *UNISDR Terminología sobre reducción del riesgo de desastre*. Obtenido de http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf
- Iturralde Vinent, M. A. (2013). *PROTEGE A TU FAMILIA DE...* La Habana, Cuba. Obtenido de http://www.unicef.org/lac/UNICEF_be_folleto_3_Derrumbes_y_deslizamientos_reduc.pdf
- La Opinion Coruña*. (s.f.). Obtenido de <http://www.laopinioncoruna.es/coruna/2009/11/29/xunta-atribuye-filtraciones-agua-desprendimiento-rocas-ag-55/338933.html>
- Lavel, A. (1994). *Viviendo en Riesgo: Comunidades Vulnerables Prevención de Desastres en America Latina*. Bogotá, Colombia: Tercer Mundo.
- LOPEZ, D. C. (2008). *CAUSAS PROBABLES DE LOS DESLIZAMIENTOS OCURRIDOS EN EL BARRIO EL*. Obtenido de http://www.bdigital.unal.edu.co/1295/2/44003778_2.pdf
- Mejía Fernández, F. (s.f.). Obtenido de http://idea.manizales.unal.edu.co/gestion_riesgos/descargas/ponencias/Manual_estructuras_vertimiento.pdf
- MILLAN LOPEZ, J. A. (2005). *GUIA AMBIENTAL PARA EVITAR, CORREGIR Y COMPENSAR LOS IMPACTOS DE LAS ACCIONES DE REDUCCIÓN Y PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL NIVEL MUNICIPAL*. AGOSTO: BOGOTÁ, COLOMBIA. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd65/GuiaAmbienta/medidas.pdf>
- Ministerio del Interior y de Justicia. (2.010). *GUÍA MUNICIPAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO*. Bogotá.
- Mora Chinchilla, R. (s.f.). *Curso Internacional Sobre Microzonificación y su Aplicación en la Mitigación de Desastres*.
- Muñoz, A. M. (2008). *La Comuna 8 MEMORIA Y TERRITORIO*. Secretaría de Cultura Ciudadana. Medellín.
- NACIONAL DE PERFORACIONES SAS. (s.f.). Obtenido de http://www.nacionaldeperforaciones.com/anclajes_activos.php
- Nova, Oscar Resyes. (2012). *Matriz y Valoración de Riesgos Ram*. Obtenido de Slideshare: Definición de gravedad en consecuencias en ambiente
- OLIMPIADAS NACIONALES DE CONTENIDOS EDUCATIVOS EN INTERNET. (s.f.). Obtenido de http://www.oni.esuelas.edu.ar/2002/buenos_aires/radiacion/chernoby.htm
- PILOTECMAR. (2009). Obtenido de <http://www.pilotecmar.com/proyectos.php?cat=3&pid=91>
- Pineda, M. (s.f.). *Universidad Centroamericana "Jose Simeón Cañas"*. Obtenido de http://cef.uca.edu.sv/descargables/2011_12_cursoMAGMA/alternativas_de_estabilizacion_de_taludes.pdf

- POSADA, J. H. (26 de Diciembre de 2012). *Prevención y control de la erosión y los deslizamiento con técnicas de bioingeniería en la región Andina Colombiana*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/FAONoticias/prevencion-y-control-de-la-erosin-y-los-deslizamiento-con-tcnicas-de-bioingeniera-en-la-regin-andina-colombiana>
- Posada, L. (12 de Febrero de 2011). *UN PERIODICO*. Obtenido de <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/si-no-se-concluyen-obras-en-la-mojana-el-desastre-sera-peor-1.html>
- Procolombia. (2014). *Procolombia*. Obtenido de http://www.procolombia.co/sites/default/files/aguas_de_manzales.pdf
- REPUBLICA. (5 de Julio de 2008). Obtenido de <http://empresayeconomia.republica.com/desarrollo-sostenible/el-huracan-katrina-la-gran-catastrofe-natural-de-los-estados-unidos.html>
- Saldias, F. (31 de Julio de 2014). *CASIOPEA*. Obtenido de http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Felipe_Saldias_-_Ficha_06/31072014
- Sanchez, D. (s.f.). *EL TIEMPO*.
- Secretaría Ejecutiva del Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres. (s.f.). *Educación en la Gestión del Riesgo*. Managua, Nicaragua.
- SUAREZ DIAZ, J. (s.f.). Obtenido de http://ocw.uis.edu.co/ingenieria-civil/estabilidad-de-taludes/clase9/estabilizacion_de_taludes.pdf
- Suarez Díaz, J. (1.998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga: Ingeniería de Suelos Ltda.
- Suarez Díaz, J. (2.009). *DESLIZAMIENTOS TOMO II: TECNICAS DE REMEDIACIÓN*. U. Industrial de Santander.
- SULTANA, A. R. (4 de Febrero de 2013). *ESTABILIDAD DE TALUDES*. Obtenido de <http://estabilidad-de-taludes7.webnode.es/news/generalidades/>
- TECSA. (s.f.). Obtenido de <http://www.tecsa.com.mx/?portfolio=22>
- TIERRA ARMADA *Tecnología Sustentable*. (s.f.). Obtenido de <http://www.tierra-armada.pe/soluciones.html>
- Tirado, Ing. Carlos Ignacio Uribe. (s.f.). *MIB, EDU Programa de Mejoramiento Integral de Barrios*. Obtenido de SlideShire : <http://es.slideshare.net/EDUMedellin/programa-mejoramiento-integral-de-barrios-mib-edu>
- UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES. (2.012). *Guía para la Formulación del Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres*. Bogotá D.C. - Colombia.
- VISTAZO. (27 de Marzo de 2015). Obtenido de <http://www.vistazo.com/seccion/vida-moderna/en-colombia-utilizan-llantas-de-desecho-para-construir-ig%C3%BAs-en-las-monta%C3%B1as>

- vivirenelpoblado. (15 de Marzo de 2012). *vivirenelpoblado.com*. Obtenido de <http://www.vivirenelpoblado.com/periodico/en-alto-verde-duermen-tranquilos>
- Weste, Cees van. (s.f.). Introducción a los deslizamientos Tipos y causas. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), Enschede, The Netherlands.
- Yepes Piqueras, V. (6 de Octubre de 2014). *UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA*. Obtenido de <http://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es/tag/soil-nailing/>
- Zuluaga, D. (11 de Diciembre de 2008). *EC BLOGUER*. Obtenido de <http://www.ecbloguer.com/revelacionesdelbajomundo/?p=58>