



**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio Politécnico**

**Métodos para controlar la erosión hídrica y eólica.**

**Carlos Andrés Falconí Vaca**

**Miguel Araque, Ing., Director de Tesis**

Tesis de grado presentada como requisito

para la obtención del título de Ingeniero Civil

Quito, mayo de 2013

Universidad San Francisco de Quito

Colegio Politécnico

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**Métodos para controlar la erosión hídrica y eólica.**

Carlos Andrés Falconí Vaca

Miguel Araque, Ingeniero Civil  
Director de Tesis  
Miembro del Comité de Tesis

---

Fernando Romo, Msc.  
Miembro del Comité de tesis  
Coordinador de Ing. Civil

---

Ximena Córdova, PhD.  
Decana de la Escuela de Ingeniería  
Colegio de Ciencias e Ingenierías

---

Quito, mayo de 2013

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

-----

Nombre: Carlos Andrés Falconí vaca

C. I.: 1714869649

Quito, mayo de 2013

## **DEDICATORIA**

Esta tesis va dedicada de manera especial a mi Papá y mi Mamá que siempre han estado para mí en todo momento y me han apoyado no solo a lo largo de la carrera universitaria sino en todos los momentos importantes de mi vida y que sin ellos no hubiera logrado nada y no sería la persona que soy.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al Ing. Miguel Araque por ser mi director de tesis por su ayuda y respaldo en la realización de este documento, a mis profesores los conocimientos brindados, a mis amigos ya que han sido vitales a lo largo de la carrera y finalmente a mis hermanas por aguantarme y estar siempre que les necesite y a mis padres por su motivación, apoyo y cariño brindada cada día.

## RESUMEN

La erosión es un proceso de desprendimiento y traslado acelerado de las partículas de suelo causado por el agua y el viento. La erosión del suelo que concierne a esta tesis es la acelerada, proceso indeseable, la cual es provocada por las actividades del hombre y es susceptible, por lo que, hay que corregirla.

Los mecanismos que intervienen en la erosión hídrica son el impacto de agua lluvia y el agua de escurrimiento. Las principales variables que establecen la erosión ocasionada por el agua son: el clima, las características físicas del suelo, la topografía y la vegetación.

La erosión eólica es un proceso natural que se ve incrementado por la intervención de los humanos en el uso indiscriminado de la tierra, la construcción sin control, la deforestación, actividades agrícolas y la urbanización.

La erosión es una de las principales fuentes de contaminación del agua, y la construcción de obras de ingeniería es una de las principales fuentes de erosión.

El planteamiento, diseño e implementación de las obras de control de erosión requiere de un trabajo conjunto, donde deben intervenir geólogos y ambientalistas, ingenieros civiles, hidrólogos, hidráulicos, y geotécnicos.

## **ABSTRACT**

Erosion is a process of detaching and accelerated transfer of soil particles caused by water and wind. Soil erosion that concerns to this thesis is accelerated erosion which is an undesirable process caused by the activities of man being so susceptible to be correct.

The mechanisms involved in water erosion are: the impact of rain water and runoff water. The main variables that establish the erosion caused by water are: climate, soil physical characteristics, topography and vegetation.

Wind erosion is a natural process that is increased by the intervention of humans in the indiscriminate use of land, construction uncontrolled, deforestation, agriculture and urbanization.

Erosion is one of the main sources of water pollution, and building engineering is a major source of erosion.

The approach, design and implementation of erosion control works requires working together where they should intervene geologists and environmentalists, civil engineers, hydrologists, hydraulic, and geotechnical.



## TABLA DE CONTENIDO

Resumen .....	7
Abstract .....	8
1. Capítulo 1 Introducción .....	14
1.1 Antecedentes .....	14
1.2 Objetivos .....	15
1.2.1 Objetivo principal del proyecto .....	15
1.2.2 Objetivos específicos del proyecto .....	15
1.3 Justificación.....	16
1.4 Área del proyecto .....	17
1.5 Río Cutuchi .....	20
2. Capítulo 2 Marco Teórico.....	23
2.1 Erosión.....	23
2.2 Erosión Hídrica.....	24
2.2.1 Factores que determinan le erosión causada por el agua.....	25
2.2.1.1 Clima.....	26
2.2.1.2 Características del suelo .....	26
2.2.1.3 Topografía.....	27
2.2.1.4 Vegetación .....	28
2.2.1.5 Precipitación.....	28
2.2.2 Procesos de erosión hídrica.....	29
2.2.2.1 Infiltración y producción de escorrentía .....	29
2.2.2.1.1 Saltación Pluvial.....	30
2.2.2.1.2 Escorrentía Superficial.....	31
2.2.2.1.3 Escorrentía Subsuperficial .....	32
2.2.2.1.4 Escorrentía Subterránea .....	33
2.2.2.2 Acarreo de sedimentos y erodibilidad.....	33
2.2.3 Formas de erosión Hídrica.....	34
2.2.3.1 Erosión Laminar .....	35
2.2.3.2 Erosión Digital o por surcos.....	37
2.2.3.3 Erosión por zanjas o cárcavas.....	38
2.2.4 Grado de Erosión.....	40
2.3 Erosión Eólica .....	41
2.3.1 Procesos eólicos: La erosión del viento, transporte y deposición.....	42

2.3.2 Factores que afectan la erosión eólica.....	47
2.3.2.1 Factores de erodibilidad .....	47
2.3.2.1.1 Textura del suelo .....	47
2.3.2.1.2 Agua .....	48
2.3.2.1.3 Procesos disgregantes.....	49
2.3.2.1.4 Cementos Orgánicos .....	49
2.3.2.2 Factores de erosividad .....	50
2.3.2.2.1 Elementos de aspereza .....	50
2.3.2.2.1.1 Vegetación .....	50
2.3.2.2.1.2 Terrones y fracciones no erosionables .....	51
2.3.2.2.1.3 Promontorios.....	51
2.3.2.2.1.4 Hileras o setos de árboles .....	52
2.3.2.2.1.5 Variaciones en la topografía .....	52
2.3.3 Otras causas de la erosión del viento .....	53
2.3.4 Riesgos y consecuencias de la erosión eólica .....	54
2.4 Marco Legal (TULAS).....	55
3. Capítulo 3 Obras para el control de la Erosión.....	56
3.1 Muros de Contención .....	56
3.1.1 Muros de Gaviones.....	56
3.1.1.1 Ventajas Muro de Gaviones .....	59
3.1.1.2 Consideraciones en el Diseño .....	60
3.1.2 Muro Enrocado (Rip Rap) con estacas .....	60
3.1.3 Muro Criba.....	61
3.1.4 Muros de Hormigón .....	63
3.2 Protección superficial .....	66
3.2.1 Protección de márgenes contra la erosión .....	67
3.2.2 Protección de taludes .....	68
3.2.3 Estabilización del suelo.....	69
3.2.4 Proceso de colocación de la geomanta.....	69
3.3 Revestimiento Pendientes.....	70
3.3.1 Características y especificaciones de las redes metálicas .....	71
3.3.2 Colocación y aplicación.....	72
3.3.3 Barreras parapeñascos.....	75
3.3.4 Diseño del Revestimiento .....	76
3.4 Diseño de Taludes .....	77

3.4.1 Terraza acanalada .....	78
3.4.2 Terraza o bancal .....	79
3.4.3 Consideraciones al construir un talud .....	80
3.4.4 Drenaje Superficial.....	81
4. Capítulo 4 Ejemplificación de las obras.....	83
4.1 Ejemplificación de las obras en la zona de Salcedo .....	83
4.1.1 Gaviones .....	84
4.1.2 Terrazas .....	86
4.1.3 Bosque .....	88
4.1.4 Protección superficial.....	89
5. Capítulo 5 Bases Teóricas Estudio de Impacto Ambiental .....	92
5.1 Estudio de Impacto Ambiental .....	92
5.2 Matriz de importancia .....	95
6. Capítulo 6 Conclusiones y Recomendaciones .....	101
6.1 Conclusiones y recomendaciones .....	101
7. Capítulo 7 Bibliografía.....	105
8. Capítulo 8 Anexos.....	109
ANEXO 1. Cartografía disponible del Río Cutuchi (IGM) .....	109
ANEXO 2. El Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULAS) .....	112

## TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización proyecto en mapa del Ecuador .....	17
Ilustración 2. Cantones provincia de Cotopaxi .....	19
Ilustración 3. Río Cutuchi .....	21
Ilustración 4. Río Cutuchi .....	22
Ilustración 5. Etapas de la erosión hídrica.....	25
Ilustración 6. Escorrentía Superficial.....	31
Ilustración 7. Procesos de formación de cárcavas por flujo subsuperficial. ....	32
Ilustración 8. Formas de erosión hídrica .....	35
Ilustración 9. Erosión laminar .....	36
Ilustración 10. Surcos con cicatrices abiertas por el agua en suelos desnudos .....	37
Ilustración 11. Las cárcavas son geoformas de erosión mayores. ....	39
Ilustración 12. Dunas de arena .....	43
Ilustración 13. Setas rocosas .....	44
Ilustración 14. Representación esquemática de los tres modos de transporte de partículas por el viento.....	45
Ilustración 15. Modo de transporte en función del tamaño de la partícula .....	46
Ilustración 16. Terrones de tierra .....	51
Ilustración 17. Muro de gaviones .....	57
Ilustración 18. Muro de gaviones malla electrosoldada .....	58
Ilustración 19. Muro de gaviones malla triple torsión.....	59
Ilustración 20. Muro enrocado vegetalizado .....	61
Ilustración 21. Muro Criba .....	62
Ilustración 22. Tipos de muro de contención y drenaje. a) muro de gravedad, b) muro en voladizo, c) muro con contrafuertes .....	64
Ilustración 23. Muro de hormigón ciclópeo.....	65
Ilustración 24. Protección talud de terraplén .....	67
Ilustración 25. Protección de márgenes con Enkamat 720.....	68
Ilustración 26. Protección pendiente con MacMat-R .....	69
Ilustración 27. Colocación de anclajes .....	72
Ilustración 28. Colocación de anclajes a lo largo de la pared .....	73
Ilustración 29. Sistematización al pie .....	74
Ilustración 30. Esquema general de barreras parapetascos.....	75
Ilustración 31. Terrazas acanaladas .....	79
Ilustración 32. Terraza escalonada .....	80
Ilustración 33. Ejemplificación obras .....	83
Ilustración 34. Gaviones .....	84
Ilustración 35. Muro de Gaviones.....	85
Ilustración 36. Terrazas .....	86
Ilustración 37. Terrazas .....	87
Ilustración 38. Árboles nativos .....	88
Ilustración 39. Bosque .....	89
Ilustración 40. Protección superficial.....	90
Ilustración 41. Protección con geomanta .....	91
Ilustración 42. Impacto ambiental .....	93

Ilustración 43. Impacto positivo (1), negativo (2).....	94
Ilustración 44. Elementos tipo matriz de importancia. ....	96
Ilustración 45. Manifestación efectos según atributos .....	98
Ilustración 46. Importancia Impacto .....	100

# 1. CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes

Las cuencas hidrográficas se constituyen como unidades geográficas idóneas para planificar el desarrollo socioeconómico de una región y el uso racional y sostenido de los recursos naturales básicos: suelo, agua y vegetación. La administración unilateral de los recursos naturales dentro de las cuencas hidrográficas, ha originado el desgaste de los ecosistemas; en algunos casos, hasta niveles donde su recuperación resulta muy difícil o casi imposible. El suelo es un recurso con una importancia vital para el hombre y su desarrollo debido a la relación de dependencia que existe entre uno y otro; en él se realizan y sustentan varias actividades productivas de los sectores industriales, agrícolas y de vivienda, entre otros. La erosión es uno de los problemas agrícolas más importantes en el mundo, debido a que representa el principal origen de los sedimentos que contaminan las corrientes de agua que llenan los lagos y presas. La erosión puede ser definida como un proceso de traslado del suelo por acción del agua o del viento, o como un proceso de desprendimiento y transporte acelerado de las partículas de suelo causado por el agua y el viento. Esto implica la existencia de dos elementos que participan en el proceso: uno pasivo que es el suelo, y uno activo que es el agua, el viento, o su participación alterna; mientras que la vegetación por su parte actúa como un regulador de las relaciones entre ambos elementos.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo principal del proyecto**

Investigar los principales métodos que pueden ser aplicados para controlar la erosión tanto hídrica como eólica.

### **1.2.2 Objetivos específicos del proyecto**

- Conocer las causas y efectos de la erosión hídrica.
- Precisar las causas y efectos de la erosión eólica.
- Proponer obras civiles para el control de la erosión hídrica.
- Formular obras civiles para el control de la erosión eólica.
- Ejemplarizar estas obras en la zona de Salcedo.

### 1.3 Justificación

La erosión una vez ha alcanzado el punto prominente de su progreso es prácticamente irreversible a escala humana, conseguir que un desierto vuelva a ser suelo fértil es una tarea de siglos. Por otro lado conseguir que los suelos fértiles se vuelvan eriales cuesta muy poco, basta una lluvia no excesivamente fuerte sobre una ladera poco provista de vegetación para que el proceso de la erosión se inicie. Los daños que la erosión produce en el suelo son peligrosos debido a que disminuyen su capacidad para retener agua y recargar los acuíferos de los que la población se abastece.

El suelo es un recurso de singular importancia para el hombre dada la relación de dependencia entre ambos establecida; en él encuentran soporte gran número de actividades productivas de los sectores de alimentos, industria y vivienda, entre otros.

Se remarca la importancia de actividades que desarrollen la prevención y disminución de la erosión del suelo validada por dos aspectos: el primero, el desbalance existente entre la tasa de formación y de pérdida de suelo, y las pérdidas económicas que implica el fenómeno erosivo, en forma tanto directa como indirecta.



## 1.4 Área del proyecto

El proyecto a realizarse está ubicado en la provincia de Cotopaxi, lugar por el cual recorre el río Cutuchi que tiene un área de 2543 km<sup>2</sup>. La provincia de Cotopaxi está ubicada en el centro norte de la cordillera de los Andes asentada en la hoya central del Patate.



Ilustración 1. Localización proyecto en mapa del Ecuador

Elaborado por: Carlos Andrés Falconí

La extensión total de la provincia de Cotopaxi es de 5956 Km<sup>2</sup>, con una densidad poblacional de 69 habitantes por km<sup>2</sup>. La provincia está conformada por siete cantones: Latacunga, La Maná, Pangua, Pujilí, Salcedo, Saquisilí, Sigchos.

Cada uno de los cantones está dividido en parroquias que se especifica a continuación:

Latacunga que funge como capital de la provincia y cabecera cantonal, ésta se encuentra dividida en quince parroquias que son: Eloy Alfaro, Ignacio Flores, Juan Montalvo, La Matriz, San Buenaventura como urbanas, y Aláquez, Belisario Quevedo, Guaytacama, Joséguango Bajo, Mulaló, 11 de Noviembre, Poaló, San Juan de Pastocalle, Tanicuchí y Toacazo.

La Maná que es cabecera cantonal y única parroquia urbana y dos parroquias rurales que son: Guasaganda y Pucayacu.

Pangua con su cabecera cantonal y única parroquia urbana El Corazón y tres parroquias rurales que son: Moraspungo, Pinllopata y Ramón Campaña.

Pujilí que es la cabecera cantonal y única parroquia urbana y seis parroquias rurales que son: Angamarca, Guangaje, La Victoria, Pilaló, Tingo y Zumbahua.

Salcedo con su cabecera cantonal y parroquia urbana San Miguel y cinco parroquias rurales que son: Antonio José Holguín, Cusubamba, Mulliquindil, Mulalillo y Panzaleo.

Saquisilí que es cabecera cantonal y única parroquia urbana y tres parroquias rurales que son: Canchagua, Chantilín y Cochabamba.

Sigchos que es cabecera cantonal y única parroquia urbana y cuatro parroquias rurales que son: Chugchilan, Isinliví, Las Pampas y Palo Quemado.



Ilustración 2. Cantones provincia de Cotopaxi

Fuente: Prefectura de Cotopaxi

Su principal atractivo turístico es volcán que lleva su mismo nombre y su capital es la ciudad de Latacunga. Según datos obtenidos del INEC del último censo realizado en el 2010 la provincia tiene una población de 409205 habitantes siendo el 51% de sexo femenino y el 49% de sexo masculino. Las principales actividades económicas de la región son la ganadería, agricultura, comercio y manufacturas de la construcción siendo las dos primeras las más practicadas.

## 1.5 Río Cutuchi

El río Cutuchi nace en las nieves del volcán Cotopaxi y en su recorrido de norte a sur hacia el río Patate recibe a los ríos Alaquez y Saquimala; en las zonas urbanas de Latacunga recibe las aguas de los ríos Yanayacu y Cunuyacu, al sur de Latacunga se une al río Pumacunchi, y en la parte central de su cauce recibe a los ríos Illuchi y Yanayacu Procedentes de lago Pisayambo. La cuenca del río Cutuchi es parte de la cuenca hidrográfica alta del río Pastaza, recorriendo aproximadamente 73 km hasta que forma el río Patate. En Latacunga se despoja un volumen relativamente alto de agua por medio de canal de irrigación que sirve para el riego de la agricultura de la región. (Cartografía del Río (Anexo 1))

El río que en la actualidad se encuentra en pleno deterioro, debido a la degradación masiva de su calidad ambiental por los vertidos sin tratamiento de las poblaciones inmersas, industrias y talleres que se asientan dentro de la zona de influencia. Adicionalmente, la severa deforestación de laderas circundantes, la construcción de viviendas prácticamente en los cauces, y la descarga de aguas servidas promueven el deterioro de la cuenca.



Ilustración 3. Río Cutuchi

Elaborado Por: Carlos Andrés Falconí

En la que se refiere a la caracterización del río Cutuchi se presenta a continuación:

**Geomorfología:** Se tiene acciones tectónicas y volcanismo andino con lo que se posee depósitos lahárticos, bloques, cantos rodados y matriz arcillosa.

**Meteorología:** La temperatura sobre los 3000 m.s.n.m. tiene un rango entre  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ , el rango mensual de temperatura bajo los 3000 m.s.n.m. es de  $7,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  la mínima y la máxima de  $14,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

En lo que respecta a la precipitación media anual se tiene que en la subcuenca Cutuchi es de 805 mm, en la subcuenca Chalupas es de 1888 mm y en la subcuenca Yanayacu es de 2386 mm.

La evaporación máxima ocurre de julio a agosto. En la zona alta > 3580 m.s.n.m. de 894 en Pisayambo, mientras que en la zona central > 2000 m.s.n.m. de 1493 en Rumipamba de las Rosas. El viento posee una dirección predominante S-SE con una velocidad 3,8 km/h.

Hidrología: El caudal medio es de 5,2 m<sup>3</sup>/s, con un rendimiento: 12,7 l/s-km<sup>2</sup>, la crecida anual a 10 años es de 100 m<sup>3</sup>/s, la crecida anual a 20 años es de 350 m<sup>3</sup>/s, y en referencia a aguas subterráneas se tiene un acuífero estimado de 1800 Hm<sup>3</sup>.

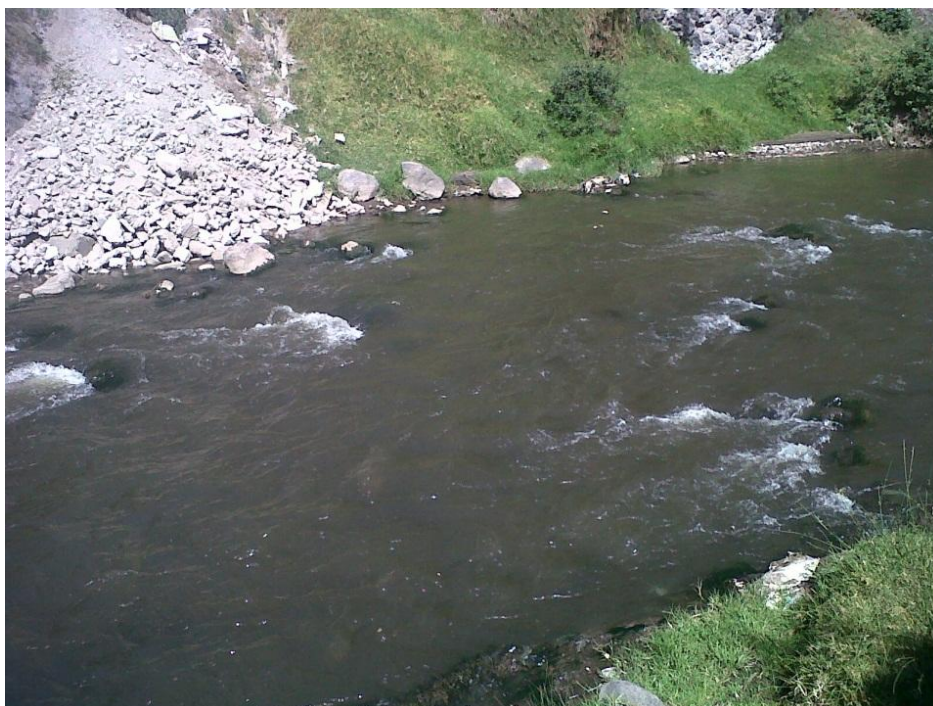


Ilustración 4. Río Cutuchi

Elaborado Por: Carlos Andrés Falconí

## 2. CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Erosión

La palabra erosión proviene del latín del verbo “erodere”, cuyo significado es roer. Se refiere al desgaste del suelo bajo la acción de los agentes erosivos, siendo los principales el agua y el viento.

La erosión de los suelos no es un problema nuevo ya que ha existido desde su origen. A pesar que el proceso erosivo puede ser tan lento que difícilmente sea apreciable, su acción va disminuyendo la vitalidad de las propiedades en todas partes. Este proceso físico gravita en el desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo por los agentes naturales y uno externo que es el hombre.

En la actualidad se reconoce casi mundialmente que la erosión del suelo compone un serio problema no sólo para el bienestar humano sino para su propia existencia, y esto se demuestra con que la gran parte de gobiernos europeos apoyan los proyectos de conservación de los suelos. La erosión, por tanto, es un proceso de desgaste que ocurre naturalmente y depende de las características climáticas, la naturaleza del suelo, la topografía y la vegetación.

La superficie de la tierra está en un continuo cambio, valles que crecen y se hacen más profundos, montañas que se elevan, pero estos cambios son apreciables después de siglos. Uno de los aspectos de este continuo proceso de cambios es la erosión.

La erosión geológica o normal es un proceso esencial que ha modelado y desgastado la superficie de la tierra dándole forma al paisaje y relieve de manera

natural, que ha de seguir ocurriendo en el futuro. La erosión del suelo que nos incumbe es la acelerada que es un proceso indeseable, la cual es provocada por las actividades del hombre, siendo susceptible, por lo que hay que corregirla.

## **2.2 Erosión Hídrica**

La erosión de los suelos por efecto del agua es mayor cuando la disolución es menor; cuando la precipitación pluvial es incapaz de ser infiltrada en el suelo fluye por la superficie y es capaz de remover material del suelo con la fuerza hidráulica del flujo.

La erosión hídrica ocurre por aguas lluvia y abarca la erosión provocada por el impacto de las gotas sobre el suelo, así también la acción hidráulica que arranca y transporta las partículas de suelo por el escurrimiento en laderas y taludes hasta sedimentarse en lugares bajos, acumularse en canales, alcantarillas, represas causando algunos peligros como lo de taponamientos e inundaciones y afectando la navegabilidad de las vías fluviales.

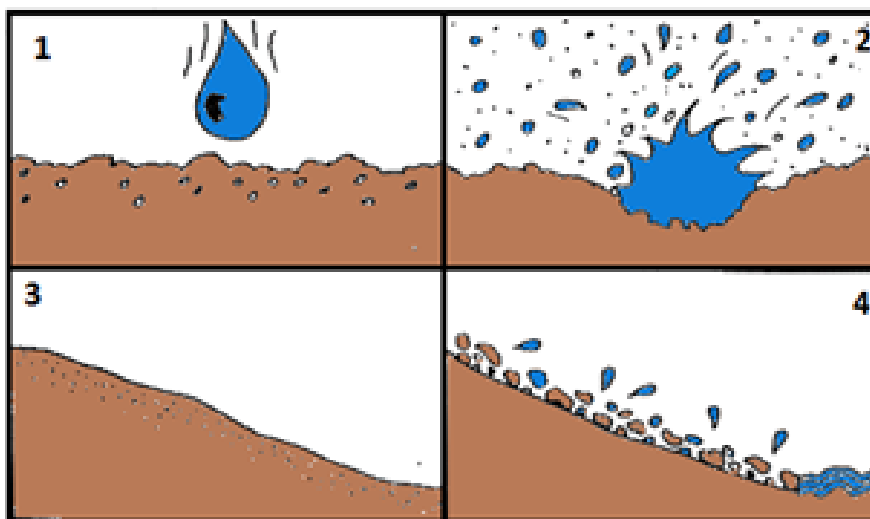
La magnitud de las pérdidas de suelo es lo que permite valorar y dar justa dimensión a los efectos de la erosión.

Los mecanismos mediante del agua lluvia que intervienen en la erosión hídrica son mediante el impacto de agua lluvia y el agua de escurrimiento.

El efecto del impacto de las gotas sobre el suelo produce disgregación de los agregados del suelo y con ello los debilita y desestabiliza, contribución al aumento



de escorrentía debido a las partículas sólidas en su flujo. El escurrimiento superficial dependerá de las características del suelo, del y de la cantidad de lluvias.



1. Impacto de la gota de lluvia sobre el suelo, 2. Agregados son desintegrados, 3. Tapan los poros 4. Provoca el escurrimiento superficial del agua de lluvia.

Ilustración 5. Etapas de la erosión hídrica

Fuente: Rolf Derpsch modificado por Carlos Andrés Falconí

### 2.2.1 Factores que determinan le erosión causada por el agua

Los principales variables que establecen la erosión ocasionada por el agua son: el clima, las características físicas del suelo, la topografía y la vegetación. El suelo y la vegetación se pueden controlar hasta cierto nivel, pero la topografía y el clima están fuera de control para el hombre.

### **2.2.1.1 Clima**

Los factores del clima que influyen en la erosión son: el viento, la temperatura, la precipitación, la radiación solar y la humedad. El viento y la temperatura tienen gran influencia sobre la evaporación y transpiración. Hay que tener en cuenta que el viento modifica la velocidad de las gotas de agua lluvia, y por ende su ángulo de impacto. En relación a la radiación solar y la humedad su injerencia es menos directa debido a que sus efectos están directamente relacionados con la temperatura.

### **2.2.1.2 Características del suelo**

Las propiedades físicas del suelo afectan la capacidad de infiltración y la distancia a la que puede dispersarse o transportarse. Las propiedades que determinan la erosión son la textura, estructura del suelo, el espesor y la densidad.

La textura del suelo determina la infiltración del terreno, la velocidad de infiltración en suelos arenosos es muy superior a la de suelos arcillosos, con lo que se retrasa el punto de saturación, y por ende la aparición de escurrimiento superficial. No obstante al aumentar la inclinación del terreno los suelos ligeros y sueltos son más vulnerables al desplazamiento del lugar que ocupan.

La estructura del suelo tiene incidencia en la infiltración y en la resistencia de las partículas a ser transportadas. El suelo granular es el más favorable, debido a su capacidad de infiltración, con lo que disminuye la escorrentía y con ello la

capacidad de arrastre. La presencia de abundante materia orgánica aumenta la resistencia a la dispersión.

Existe una relación entre el espesor del suelo y la erosión de éste, a mayor espesor menor erosión y a menor espesor mayor erosión del suelo. A menor espesor también existe menor desarrollo de la vegetación y capacidad de almacenamiento de agua.

### **2.2.1.3 Topografía**

En la erosión, las características topográficas que influyen son: el grado de las pendientes, la longitud en pendiente, y el tamaño y forma de las cuencas.

El grado de pendiente regula la velocidad del agua sobre la superficie. En pendientes demasiado empinadas, la alta velocidad del flujo ocasiona una erosión rigurosa, debido a la abrasión y desplazamientos severos de sedimentos.

La longitud de la pendiente tiene un efecto similar sobre la pérdida de suelo. Si la pendiente es larga, la escorrentía superficial aumenta de mayor forma que en una corta, tanto en velocidad como volumen y profundidad; lo que puede provocar erosión abrasiva que no ocurriría en una pendiente de menor longitud.

La forma de la cuenca es básica para determinar el hidrograma de la cuenca, y con éste determinar en parte la dimensión de los problemas de socavación y erosión.

#### **2.2.1.4 Vegetación**

La vegetación ayuda a disminuir la erosión de algunas maneras: reduciendo la escorrentía al absorber la energía de las gotas de lluvia al interceptarlas al caer, mejora la cohesión y porosidad del suelo por medio de las raíces de las plantas, reduce la velocidad del agua, restringe el movimiento de suelo y disminuye la humedad del suelo con la transpiración de la vegetación.

#### **2.2.1.5 Precipitación**

Surge el aguacero como unidad natural al considerar las precipitaciones en el espacio y tiempo. La intensidad, duración y frecuencia de los aguaceros son las características de la precipitación de mayor importancia en la erosión. La abundancia es definida como el producto de la duración e intensidad.

Al ocurrir que la intensidad es superior a la penetración de agua en suelo, se producirá un escurrido superficial generador fundamental de erosiones. Según el tiempo de duración de dicho fenómeno los efectos revestirán de una menor o mayor importancia.

La frecuencia de la lluvia influye en el proceso erosivo debido a sus derivaciones en el estado de humedad del suelo en el tiempo. Si los intervalos entre precipitaciones son cortos, el contenido de humedad es alto al iniciarse un nuevo aguacero de manera que ocasiona escorrentía aunque la intensidad sea baja.

Contrariamente, cuando los intervalos son largos, el suelo se llega a secar, retardando la formación de la escorrentía superficial, y si la intensidad de lluvia no es alta, puede que no se forme dicha escorrentía superficial.

## **2.2.2 Procesos de erosión hídrica**

### ***2.2.2.1 Infiltración y producción de escorrentía***

Al presentarse precipitaciones dicha agua intenta infiltrarse dentro del suelo, trasladando hacia abajo el agua existente a través de macro poros, creando una onda de presión hacia el interior del suelo, que produce un frente de infiltración

Al principio, la mayoría del agua de la lluvia ingresa en el suelo humedeciéndolo. La humedad producida es clave en la cantidad de infiltración, debido a que crea una fina capa de saturación y mientras esta capa no se encuentre en equilibrio no se producirá corriente de infiltración ni escorrentía. Este equilibrio se obtiene a lo largo de todo el perfil , transmite agua a la máxima tasa posible por la parte menos permeable.

La tasa de infiltración es la constante con la cual el agua ingresa en el suelo, que al principio es muy alta y disminuye de manera constante, este proceso se relaciona directamente con la conductividad de saturación del suelo.

Al momento en que la intensidad pluvial supera la capacidad de infiltración se produce un flujo superficial. Existen intensidades de precipitación suficientemente

altas para superar la infiltración final, pero esto sucede en raras ocasiones y especialmente en lugares áridos.

La capacidad de infiltración depende del suelo. Los suelos más permeables tienen mayor capacidad de infiltración. Las arenas y gravas son mucho más permeables que los limos, y los limos a su vez más permeables que los suelos arcillosos.

Escorrentía es la fracción de precipitación que se manifiesta fluyendo sobre la superficie del terreno.

La proporción y acumulación de la escorrentía depende de algunos elementos como son: la Intensidad de la lluvia, lugar y topografía de la superficie del terreno, longitud e inclinación de la pendiente y longitud de las laderas o taludes, vegetación y características del suelo.

La escorrentía total en una cuenca se da de diversos componentes: saltación pluvial, escorrentía superficial, escorrentía subsuperficial y escorrentía subterránea.

#### ***2.2.2.1.1 Saltación Pluvial***

La saltación pluvial consiste en el impacto de las gotas de lluvia contra el suelo expuesto y privado de vegetación, produciendo el despojo y arrastre del suelo fino. Este impacto de agua compacta el suelo de tal manera que aumenta la escorrentía y disminuyendo la permeabilidad.

### 2.2.2.1.2 Escorrentía Superficial

La escorrentía superficial se denomina a la capa que escurre superficialmente antes de integrarse al cauce principal de la cuenca, menos la interceptación, infiltración y almacenamiento superficial. Este tipo de escurrimiento puede ser difuso como concentrado.

Escorrimento superficial difuso se da en laderas sin vegetación y afectada por la saltación pluvial previamente mencionada. Este escurrimiento ocurre cuando la velocidad del flujo de agua no supera los 30 cm/seg ocasionando la erosión laminar que incita el escurrimiento de agua al arrastrar partículas finas del suelo.

Escorrimento superficial concentrado genera dos formas de erosión que son la digital o por cárcavas. A partir de que el flujo de agua es turbulento, la energía del agua labra anastomados (canales paralelos) más conocidos como surcos en la erosión digital, y cárcavas que son más anchos y tienen mayor profundidad que los surcos en la erosión por zanjas.

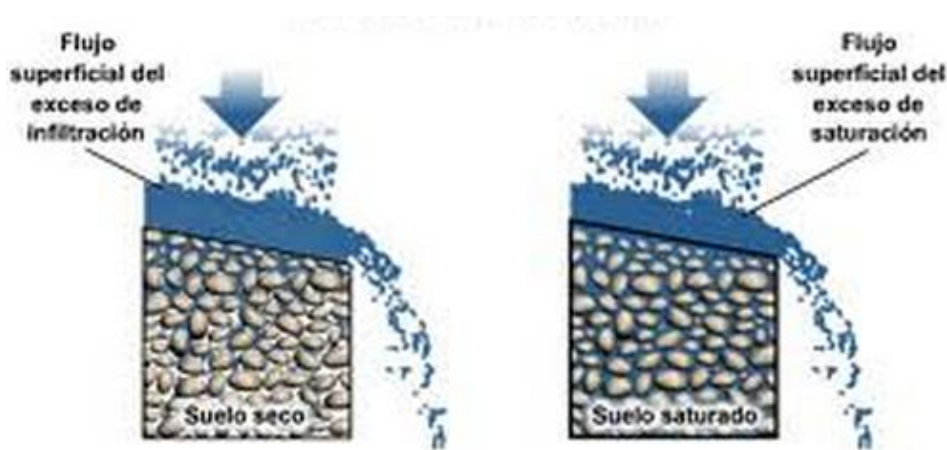


Ilustración 6. Escorrentía Superficial

Fuente: Meted

### 2.2.2.1.3 Escorrentía Subsuperficial

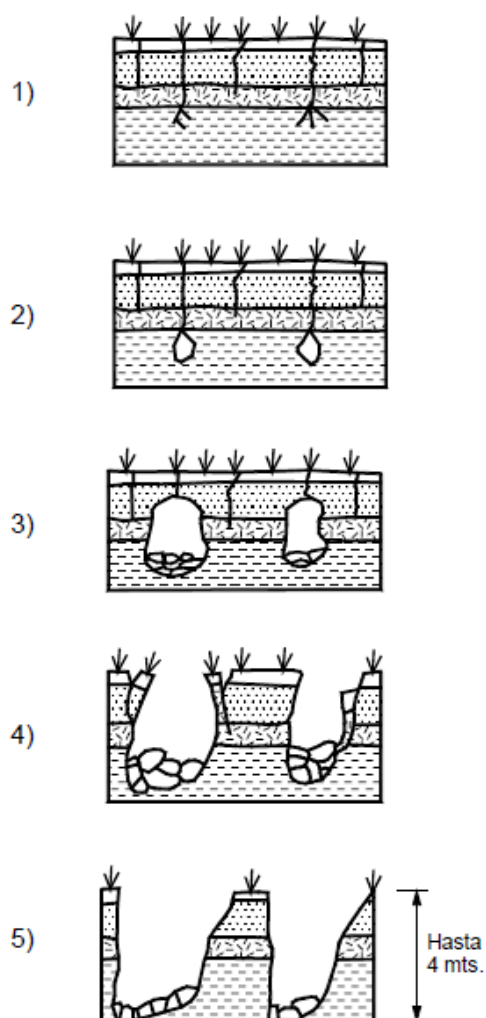


Ilustración 7. Procesos de formación de cárcavas por flujo subsuperficial.

Fuente: Suarez. Control de la erosión

La escorrentía subsuperficial es aquella parte de la escorrentía total que incluye a la precipitación que se infiltra en el suelo, y que luego fluye lateralmente hasta integrarse a los cauces de drenaje. La magnitud depende de la forma geológica del cauce y de la cuenca. Si el flujo se da por medio de macro poros se lo conoce como flujo subsuperficial rápido, y si ocurre por micro poros se lo denomina flujo



subsuperficial lento. Este flujo es vital para determinar el carácter de la erosión del suelo por medio de la reserva relativa de agua como flujo saturado o convencional.

Las aguas infiltradas ocasionan la tubificación y el sifonamiento del suelo, formando cavidades, en donde la fuerza de infiltración ha superado la resistencia del suelo.

#### ***2.2.2.1.4 Escorrentía Subterránea***

La escorrentía subterránea ocurre por el paso lento de la lluvia o de deshielos a través de la porosidad del suelo hasta alcanzar la capa subterránea y encontrar el cauce del río. La magnitud depende del porcentaje de humedad de suelo y de la geología de la cuenca. En su mayoría este tipo de escorrentía no representa mucha importancia debido a su proceso lento.

Otro componente de la escorrentía total es la cantidad de la precipitación que impacta directamente al cauce, si se lo relaciona con el tamaño total de la cuenca su aporte es mínimo por lo que a nivel general se lo desprecia.

#### ***2.2.2.2 Acarreo de sedimentos y erodibilidad***

Uno de los aspectos de mayor importancia en la erosión del suelo es el acarreo de los sedimentos hacia las corrientes de agua. Estos procesos acontecen sobre suelos meteorizados o lechos rocosos de consolidación débil.

La erodibilidad se la puede establecer como dinámica ya que puede variar por una tormenta, por la labranza del suelo, con las construcciones y con los cambios de temperatura. Adicionalmente tiene relación con la vegetación, clima y propiedades de los distintos materiales.

La erodibilidad está relacionada con la estabilidad de los agregados y con las fuerzas cohesivas que los conservan unidos.

El movimiento de los suelos se origina por la acción hidráulica del flujo que genera fuerzas de cohesión y fricción que arrancan y elevan a las partículas del suelo generando que se mueve.

De manera general se puede observar que la erodibilidad es alta en limos y arenas, es baja en gravas gruesas bien gradadas, se incrementa al aumentar la relación de vacíos y la pendiente del talud, decrece con el aumento del contenido de materia orgánica.

### **2.2.3 Formas de erosión Hídrica**

La erosión hídrica se manifiesta en formas distintas que por lo general se las presentan dependiendo del daño que representan para los suelos. Se clasifican en tres tipos de erosión que corresponden a otros tantos pasos de su proceso y son: erosión laminar, erosión digital o por surcos y erosión por zanjas o cárcavas.

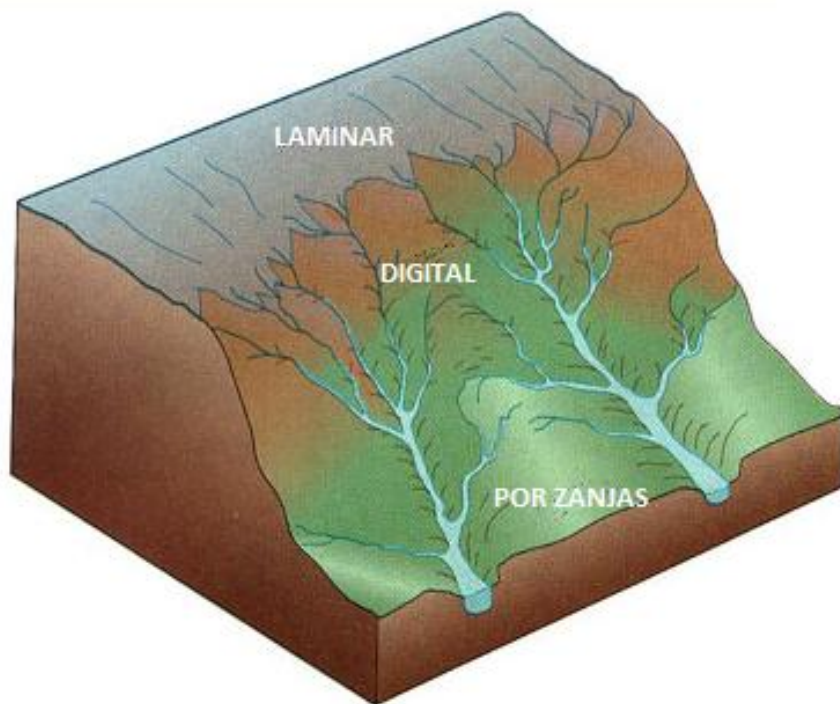


Ilustración 8. Formas de erosión hídrica

Fuente: Wakefield Soil Erosion

### **2.2.3.1 Erosión Laminar**

La erosión toma el nombre de laminar cuando el agua trastorna y acarrea un manto superficial del suelo. Esto ocurre, por lo general, en los terrenos con poca inclinación, ocasionándose de un modo lento, paulatino y uniforme que sus deterioros son difíciles de valorar a corto tiempo y a simple vista. Sin embargo, la variación del color del suelo hacia tonos más claros es un signo confiable de sus efectos que, por otra parte, se van reflejando en una progresiva disminución de los rendimientos en las cosechas.

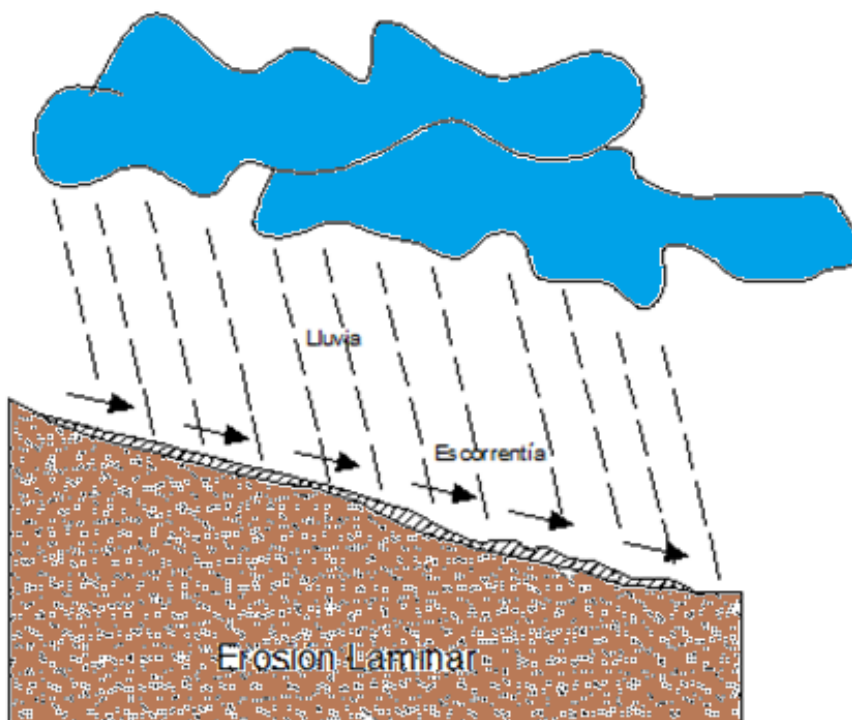


Ilustración 9. Erosión laminar

Elaborado por: Carlos Andrés Falconí

La erosión laminar reside en el desprendimiento y transporte en capas del suelo por efecto de la escoorrentía. Estas capas disminuyen de manera poco perceptible y es común en zonas deforestadas hace poco tiempo y en suelos residuales. El suelo de la superficie se ve modificado por la acción de las gotas de lluvia que se infiltra al acumularse en una capa de flujo de 3 milímetros de espesor. El flujo laminar posee poca fuerza erosiva, pero en ciertas partes se convierte en turbulento incrementando su capacidad de erosión.

### **2.2.3.2 Erosión Digital o por surcos**

Cuando se observan sobre el terreno numerosas zanjitas y canalículos, la erosión se denomina digital, con una profundidad menor de 20-30 centímetros que son generadas por el escurrimiento superficial que aumenta caudal, energía y velocidad del fluido. Este tipo de erosión puede ser eliminado con las herramientas comunes de labranza de los productores. Dentro del proceso de la erosión pluvial esta forma constituye su segundo paso, y significa que el agua ya ha encontrado sus vías naturales de desagüe, acrecentando el desgaste del suelo y exteriorizándolo a una mayor profundización en los lugares afectados.



Ilustración 10. Surcos con cicatrices abiertas por el agua en suelos desnudos

Fuente: Atlas de Murcia

La erosión en surcos ocurre cuando el flujo superficial empieza a concentrarse sobre la superficie del terreno, debido a la irregularidad natural de la superficie. Al concentrarse el flujo en pequeñas corrientes sobre una pendiente, se genera una concentración del flujo, el cual por la fuerza tractiva de la corriente produce erosión, formándose pequeños surcos o canales, los cuales inicialmente son prácticamente imperceptibles, pero poco a poco se van volviendo más profundos.

La erosión en surcos es la causante del mayor porcentaje de producción de sedimentos sobre la superficie de la tierra (Schwab y otros, 1981).

### ***2.2.3.3 Erosión por zanjas o cárcavas***

La erosión por zanjas, también denominadas cárcavas, es la forma más espectacular y máxima del mismo que representa un estado avanzado de erosión; su proceso es complejo y ha estado antecedido por los tipos de erosión descritos anteriormente. Los canalículos y zanjitas se transforman en zanjas de grandes dimensiones, las que surcan los campos, socavándolos cada vez más.

Las hondonadas y desmoronamientos que se generan terminan por inhabilitar parcial o totalmente el terreno, convirtiéndose las zanjas con frecuencia en arroyuelos que conducen el agua de lluvia y los componentes del suelo destruido hacia los arroyos y ríos.

Aunque el volumen total de pérdidas de suelo en el mundo debida a la erosión en cárcavas es comúnmente menor que la debida a la erosión laminar y en surcos,

los daños asociados con la erosión en cárcavas puede ser mucho más significativo y los riesgos para las vidas humanas pueden ser mayores.

Una zanja significa la pérdida de grandes volúmenes de suelo en un solo sitio. Las cárcavas profundas y anchas alcanzan profundidades en algunos casos superiores a 50 metros, limitando en forma importante el uso de la tierra y generando grandes fuentes de sedimentos para las corrientes.



Ilustración 11. Las cárcavas son geoformas de erosión mayores.

Fuente: Atlas de Murcia

Las áreas más predispuestas a erosión por zanjas son aquellas que poseen una pendiente alta y estratos de suelo de gran espesor. Las zonas semiplanas que albergan gran cantidad de aguas de escorrentía y presentan taludes de pendiente

lateral fuerte, tienen mayor tendencia a la formación de cárcavas. Las áreas más afectadas por zanjas o cárcavas son aquellas que poseen suelos dispersivos o altamente erosionables.

Las cárcavas generan menos sedimentos a nivel mundial que los surcos, pero son mucho más riesgosos para la vida humana debido a la cantidad de daños que producen a carreteras y ciudades.

#### **2.2.4 Grado de Erosión**

El grado de erosión se puede clasificar en 5 categorías dependiendo del porcentaje de pérdida del mismo.

Erosión nula: sin rasgos de erosión

Erosión ligera: pérdida de hasta un 10 por ciento. Se puede observar señales de arrastre por la poca presencia de canalículos en campos de cultivos y huellas de leve maltrato en pastos.

Erosión moderada: pérdida de 11 a 25 por ciento. Indicios de erosión por la localización sistematizada de surcos y canalículos de poca profundidad en el suelo. Escasez de cárcavas.

Erosión severa: pérdida de 26 a 50 por ciento. Existencia de varios surcos incluso después del arado, pequeños deslizamientos en laderas. Presencia de cárcavas pequeñas y algo grandes no corregibles por el arado.



Erosión grave: pérdida mayor al 50 por ciento. Suelos prácticamente destruidos, con fuertes ondulaciones, cárcavas profundas en patrones dendríticos. Se incluyen los deslizamientos y deposiciones masivas de tierra que se han desplazado hacia abajo por la gravedad.

### **2.3 Erosión Eólica**

La erosión eólica es un proceso natural, pero que también puede verse incrementado por la intervención de los humanos a través del uso indiscriminado de la tierra, la construcción sin control, la deforestación, actividades agrícolas y la urbanización.

Se entiende por erosión eólica a la acción producida por el viento de disgregación, remoción y transporte de las partículas del suelo. El material removido se deposita a distancias variables del lugar de origen dependiendo del tamaño de las partículas transportadas y de la erosividad del viento.

El viento se lleva a los constituyentes menos densos y más ligeros del suelo tales como materia orgánica, arcillas, limos de manera que está eliminando la parte más fértil del suelo. Esto reduce la productividad del suelo y por lo tanto disminuye la productividad potencial del suelo, e incrementa los costos económicos.

Las condiciones favorables para que exista erosión eólica es que la tierra posea gránulos finos, sea suelta y seca, y la zona susceptible sea suficientemente

grande y desprovista de vegetación. Adicionalmente, el viento debe ser fuerte y turbulento como para mover la tierra.

### **2.3.1 Procesos eólicos: La erosión del viento, transporte y deposición**

Para comprender la mecánica de la erosión eólica, se deben considerar la naturaleza y magnitud de las fuerzas que intervienen sobre el suelo. El proceso de erosión teniendo como agente principal al viento, se divide en tres fases simples pero diferentes: iniciación del movimiento, transporte y depósito.

El movimiento del suelo se inicia como consecuencia de la velocidad y turbulencia del viento. La velocidad inicial del movimiento es la mínima necesaria para provocar el movimiento de las partículas por acción del viento. El viento en la superficie en su mayoría es turbulento, excepto cuando su velocidad es baja y muy cercana al suelo. La velocidad requerida para el desprendimiento aumenta, al aumentar el tamaño de las partículas.

Existen dos métodos por los que el viento lleva a cabo su actividad de erosión en la superficie de la Tierra que son: la deflación y la abrasión. A continuación se presentan los detalles de cada uno de estos métodos.

La deflación se describe como la acción erosiva del viento que eleva las partículas sueltas del suelo y los transporta de un lugar a otro. Este método de la erosión del viento es preponderante en los desiertos, en donde las partículas de arena son levantadas por el viento y transportadas a otras partes del desierto para formar grandes dunas de arena.



Ilustración 12. Dunas de arena

Fuente: Geo International por Michael Martin

La abrasión se refiere a las partículas pequeñas de suelo que se encuentran suspendidas en el aire, que son expulsadas contra una estructura de pie, la estructura en pie comienza a erosionarse con el transcurso del tiempo. Este proceso por el cual el viento erosiona diversas formaciones terrestres da como resultado la formación de estructuras conocidas como setas rocosas.

La velocidad requerida para el transporte de las partículas una vez iniciada es menor que la requerida para el desprendimiento. Estas partículas finas son transportadas por el viento a distancia considerable dependiendo de la velocidad del viento y el tamaño de las partículas.



Ilustración 13. Setas rocosas

Fuente: Panoramio por Miguel Rodríguez.

El transporte de estas partículas se puede dividir en tres diferentes métodos: de suspensión, saltación y de reptación. A continuación se explica cada uno de estos métodos:

Suspensión: en este proceso se transporta las partículas más pequeñas, siendo el movimiento más visible que sucede a gran altura. Cuando el diámetro de las partículas del suelo es de 0,1 mm o menos, estas partículas tienden a permanecer en suspensión en el aire y el viento las lleva a lo largo de distancias considerables. Estas pérdidas no representan más del 15% de la erosión eólica,

aunque cuando ocurren representan grandes pérdidas de suelo para la zona de ocurrencia.

Saltación: las partículas que se mueven por este método permanecen cercanas al suelo a una altura no mayor a 30 centímetros convirtiéndose en el modo de transporte más importante. Cuando el diámetro de las partículas del suelo es aproximadamente entre 0,1 mm y 0,5 mm, son demasiado pesadas para ser transportadas a distancias considerables.

En tal situación, estas partículas son levantadas y depositadas en una distancia corta, y la repetición continua de este método los transporta a una distancia considerable. . Dentro de este proceso se concentra entre el 50 y 90 % del transporte de sedimentos.

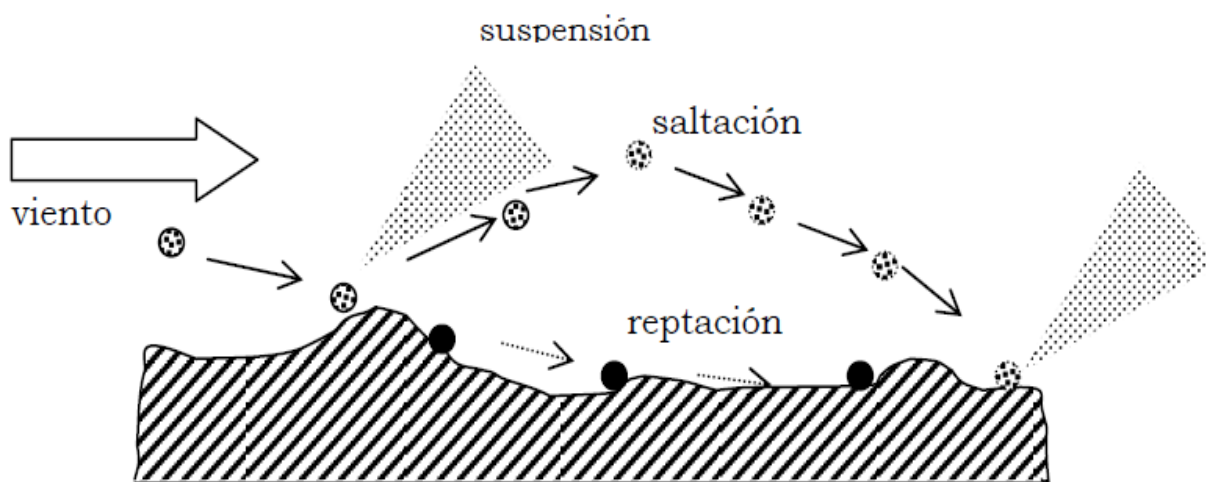


Ilustración 14. Representación esquemática de los tres modos de transporte de partículas por el viento.

Fuente: Erosión eólica. Cesar Rostagno.

Reptación: las partículas describen el movimiento deslizándose por el suelo debido a su tamaño. Cuando el diámetro de las partículas del suelo es 0,5 mm o más, se hace difícil para el viento para levantar y por lo tanto, son transportados por el viento de un lugar a otro por haciéndolas rodar por el suelo. Este método por el que el viento transporta material erosionado. Representa entre el 5 y 25% de sedimentos removidos.

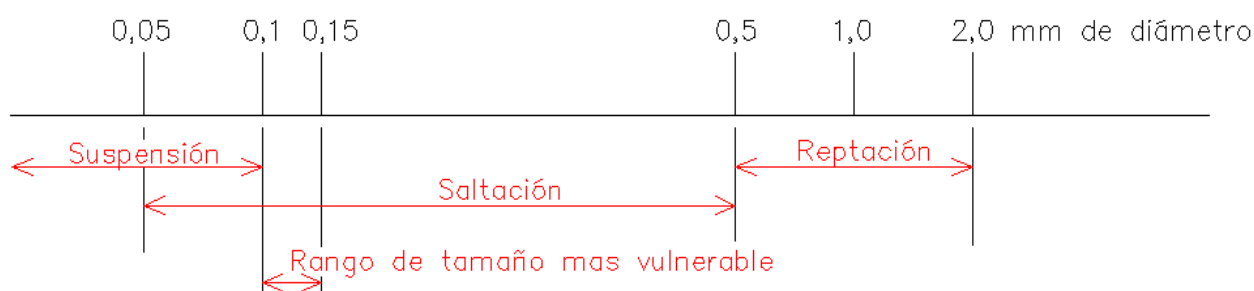


Ilustración 15. Modo de transporte en función del tamaño de la partícula

Elaborado por: Carlos Andrés Falconí

La acumulación del sedimento se registra al bajar la velocidad del viento a causa de la vegetación, o al encontrarse las partículas con un obstáculo físico. Esta fase del proceso ocurre cuando la fuerza gravitatoria es mayor que la fuerza que mantiene a las partículas en el aire. Al igual que con la actividad erosiva, incluso la actividad de la deposición del viento se rige por su velocidad.

Las partículas pesadas se eliminan primero, mientras que las partículas ligeras se transportan más lejos y son depositadas cuando la velocidad del viento disminuye por un grado significativo.

### **2.3.2 Factores que afectan la erosión eólica**

La tasa en la que se presenta la erosión eólica depende de la erodibilidad y erosividad del viento. La erodibilidad del suelo es la susceptibilidad con que un suelo es erosionado según sus propiedades intrínsecas.

#### ***2.3.2.1 Factores de erodibilidad***

La erodibilidad de las partículas del suelo depende de sus densidad, diámetro y forma. Cuando un suelo se encuentra bien estructurado, la cantidad de partículas del suelo lo suficientemente pequeñas para ser transportado por el viento es mínima y la abrasión puede ser baja por la dotación restringida de abrasivos.

Lo suelos de estructuras débiles que poseen gran cantidad de material erosionable puede desgastarse de manera veloz y constante. La estabilidad y estado del suelo se determina principalmente por la textura del suelo, el agua, los procesos disgregantes y los cementos orgánicos.

##### ***2.3.2.1.1 Textura del suelo***

La atribución de la textura del suelo está relacionada con la capacidad de retención de humedad. La arena arcillosa es el suelo más vulnerable. El suelo arcilloso es mucho más pegajosa y mejor estructurado, y por lo tanto más resistentes. Arena gruesa y suelos de grava son también más resistentes, debido a que las partículas son demasiado pesadas para ser eliminado por la erosión del

viento. El tamaño óptimo de la erosión del viento es de unos 80 micrones. Los terrones (masa compacta de tierra) de suelos más estables consisten en mezclas compuestas del 40 a 50 % de limo, del 20 a 40 % de arena y el 20 al 30 % de arcilla

### **2.3.2.1.2 Agua**

El agua es propensa para unir los granos del suelo. En las arenas el agua se elimina con facilidad y el lazo cohesivo se rompe fácilmente. En los lugares que prevalecen los materiales de contextura más fina la capacidad de absorción de la humedad de los suelos son mejores.

Las fuerzas electrostáticas logran que las moléculas de agua se absorban a la superficie de los granos conservándose ahí a pesar de las succiones causadas por el secamiento. El agua absorbida se junta con el agua capilar debido a la tensión superficial formando una cuña capilar.

En suelos que se humedecen y luego se secan, dicha retención de humedad enfatiza la fuerza de vinculación entre granos de suelo por la mayor presión entre ellos.

La erodibilidad del suelo disminuye a medida que aumenta la humedad del suelo. El umbral de velocidad de corte aumenta según se incrementa el contenido de humedad.



Adicionalmente, otro efecto del agua en relación con la erosión eólica son las costras superficiales generadas del impacto de las gotas de lluvia. Estas costras en su mayoría son constituidas de limos y arcillas. Las partículas gruesas quedan en la superficie son movidas con relativa facilidad por el viento una vez finalizada la precipitación.

#### **2.3.2.1.3 Procesos disgregantes**

Se conoce que el carbonato de calcio incrementa la erodibilidad y amenora la estructura del suelo. La excepción de este efecto se da en suelos arenosos debido que al poseer una estructura escasa el carbonato les beneficia actuando como un cemento débil.

El proceso de congelamiento y descongelamiento influye en la reducción de la estabilidad mecánica del suelo generando mayor erodibilidad.

#### **2.3.2.1.4 Cementos Orgánicos**

Una diversidad de cementos se encuentran asociados con la descomposición orgánica por efecto de los microorganismos. Al aumentar la materia orgánica se mejora la cohesión del suelo y que el material que se queda en la superficie se descompone de manera más pausada.

### **2.3.2.2 Factores de erosividad**

Los factores de erosividad están relacionados con la aspereza superficial que es la restricción primordial al flujo antes mencionado. La fuerza del viento es el factor principal que afecta la erosividad.

#### **2.3.2.2.1 Elementos de aspereza**

Para poder describir los elementos de aspereza se los distingue en cinco grupos los cuales son descritos a continuación:

##### **2.3.2.2.1.1 Vegetación**

Las propiedades de mayor importancia de la vegetación son: la altura y densidad. La altura y densidad establecen la extensión en el cual el flujo de aire se contacta con la superficie del suelo e influye en la altura de la superficie aerodinámica media.

Los pastos y legumbres son los tipos de vegetación con mayor eficiencia para constituir una cubierta densa.

### **2.3.2.2.1.2 Terrones y fracciones no erosionables**

La erosión continúa hasta que en la superficie se encuentran una cantidad suficiente de elementos no erosionables. Estos elementos no erosionables forman una cubierta directa que resguarda a los granos erosionables que se encuentren en la superficie del suelo.



Ilustración 16. Terrones de tierra

Fuente: Dreamstime

### **2.3.2.2.1.3 Promontorios**

Un promontorio es una sobresaliente masa de tierra que resalta de tierras más bajas en el que se encuentra un cuerpo de agua o entre dos valles. Los promontorios resistieron a fuerzas erosivas que trasladaron rocas que se encontraban en sus costados. Los promontorios dan resultado al atrapar el viento

cuando sopla se en un ángulo recto y paralelo respecto a ellos de manera que reducen la erosión al proteger al suelo.

#### **2.3.2.2.1.4 Hileras o setos de árboles**

A las hileras o setos de árboles se los conoce como cinturones de protección de campo. Al colocar una barrera que se interpone a la línea del viento hay una reducción importante de la velocidad a sotavento (zona de la que viene el viento) de la barrera y una reducción menor a barlovento (zona hacia dónde va el viento). A esta reducción se la enuncia como un porcentaje de flujo no obstruido y es proporcional a la altura de la barrera. Al existir espacios vacíos en la barrera se genera un flujo acelerado que aumenta el riesgo de erosión.

#### **2.3.2.2.1.5 Variaciones en la topografía**

La fuerza de corte máximo del viento ocurre en la parte superior de las pendientes a barlovento. La pérdida del suelo se incrementa de manera rápida y constante tanto con el aumento de la pendiente como con la distancia hacia la cresta de la montaña. La presencia de lomas y espacios vacíos afectan a la erodibilidad del suelo y la menor humedad del suelo se encuentra en las partes altas ya que existe un mejor drenaje.

### **2.3.3 Otras causas de la erosión del viento**

La velocidad del viento juega un papel muy importante en el desplazamiento de la superficie del suelo. Los ecosistemas con vientos de alta intensidad son susceptibles de ser sometidos a más erosión. Los sedimentos y el contenido de limo en las pendientes se pierden en la presencia de vientos fuertes. La eliminación resultante de un área y en otro depósito.

La construcción de carreteras y edificios, y la deforestación indiscriminada aumenta la tasa de erosión eólica. El viento puede soplar fácilmente fuera de los sedimentos y la cubierta del suelo que se ha soltado debido a la acción humana. Estas acciones también afectan los patrones de drenaje, muros de contención y compactación del suelo, lo que conduce a la exposición del suelo mineral.

Pastoreo intensivo y los cambios drásticos en la vegetación también aumentan la tasa de erosión eólica. Tala y quema de vegetación, tratamientos químicos y la agricultura migratoria no sólo exponen la cobertura del suelo a la erosión eólica de mayor forma, sino que también afectan el hábitat de los seres vivos dependientes. El aumento de las actividades humanas y de los animales promueve que la erosión por el viento más fácil y perjudicial para el ecosistema.

La erosión eólica es en gran parte el resultado de muchos procesos interactivos superpuestos. A pesar de la erosión eólica en algunos aspectos se dice que es menos destructivo que la influencia erosiva del agua, cuando el viento se lleva las partículas del suelo, tiene un componente de mucho mayor fricción debido a que cada grano actúa como una herramienta de corte.

El resultado del largo período de erosión eólica es visible en la mayoría de las regiones desérticas, donde las bases de las rocas se han erosionado dando origen a formaciones rocosas espectaculares y esculturas. El viento no podía levantar los granos finos de arena muy alto, pero en los lugares donde ha sido capaz de hacer su trabajo, ha dejado una marca indeleble.

#### **2.3.4 Riesgos y consecuencias de la erosión eólica**

El proceso puede actuar en distintos ambientes naturales que no poseen una cubierta vegetal protectora, y es importante en zonas de dunas costeras, desiertos cálidos como fríos y en regiones montañosas expuestas. El proceso natural de la erosión teniendo como agente primordial al viento, puede presentar varios efectos físicos como son: daño a los suelos y cultivos, y consecuencias económicas poco deseables.

El viento remolca a grandes distancias los elementos más finos: coloides arcillosos y limos. Arrancados a los terrenos cultivados puede representar una pérdida importante en elementos fertilizantes

La degradación de las cortezas de sedimentación en la superficie de los suelos desnudos, o la erosión de las rocas en su base donde están en contacto con el suelo.

La erosión eólica reduce la capacidad del suelo para almacenar nutrientes y agua, provoca acumulación de sedimentos en embalses naturales y artificiales y disminuye la calidad del agua.

Este tipo de erosión genera dificultades más allá del lugar del origen de los sedimentos, como son tormentas de polvo que afectan al tráfico aéreo y a la circulación de transportes terrestres, dañar equipos electrónicos y causan enfermedades respiratorias.

#### **2.4 Marco Legal (TULAS)**

El Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULAS), es un documento que busca reconocer las políticas y estrategias fundamentales, con la finalidad de certificar una gestión ambiental permanente, dirigida a alcanzar el desarrollo sustentable (Decreto Ejecutivo 3516, 31 de Marzo del 2003).

La gestión y coordinación ambiental está a cargo del Ministerio del Ambiente, a fin de asegurar una coherencia nacional, tanto del sector público como privado en el país, de manera que cada sector responda según la actividad que realice bajo el marco de la política ambiental.

(Anexo 2)

### **3. CAPÍTULO 3 OBRAS PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN**

#### **3.1 Muros de Contención**

##### **3.1.1 Muros de Gaviones**

Los muros de gaviones son estructuras de contención a gravedad, cuya finalidad es detener masas de tierra u otros materiales sueltos cuando las condiciones no permiten que estas masas tomen sus pendientes naturales, evitando vuelcos y deslizamientos.

Un gavión es un componente modular con formas variadas, fabricado por medio de redes metálicas que se los llena con piedras y se los cose formando estructuras con el objetivo de solucionar problemas hidráulicos, geotécnicos y para el control de erosión.

La estructura modular de estas estructuras admite variaciones en la sección gracias a su adaptabilidad a incrementos de altura. La resistencia intrínseca de las unidades proporciona confiabilidad a su estabilidad estructural y dimensional, y a su vez su grado de flexibilidad le admite que se adapte al asentamiento y movimiento de tierras cuando sea requerido.

Hay que tomar en cuenta el amarre entre las unidades que componen el gavión para evitar el movimiento aislado de ellas y así obtener y garantizar un muro monolítico.





Ilustración 17. Muro de gaviones

Fuente: Bianchini

La disminución de la capacidad de conducción de la escorrentía superficial es uno de los efectos visibles en laderas y quebradas de la Cordillera Andina, debido principalmente a la deforestación en sus márgenes, construcciones sin control, y prácticas agrícolas poco apropiadas en la zona.

La destrucción de taludes en drenajes, el incremento de las pendientes la profundización de los cauces, el daño a cultivos y viviendas hacen necesario la implementación de medidas y obras estructurales con la función de evitar y estabilizar los efectos antes mencionados.

Las estructuras en gaviones tienen características altamente recomendables, debido a su funcionalidad de construcción e implementación, su comportamiento

flexible y economía. A pesar de todas estas bondades hay que tener cuidado con su uso masivo en el control de la erosión ya que a veces no son la mejor opción.

Por su flexibilidad el muro de gaviones puede deformarse fácilmente al ser sometido a presiones, diferenciándose un poco su comportamiento de los muros convencionales. La variedad de uso de diversas mallas permite escoger un rango de rigidez en el muro.

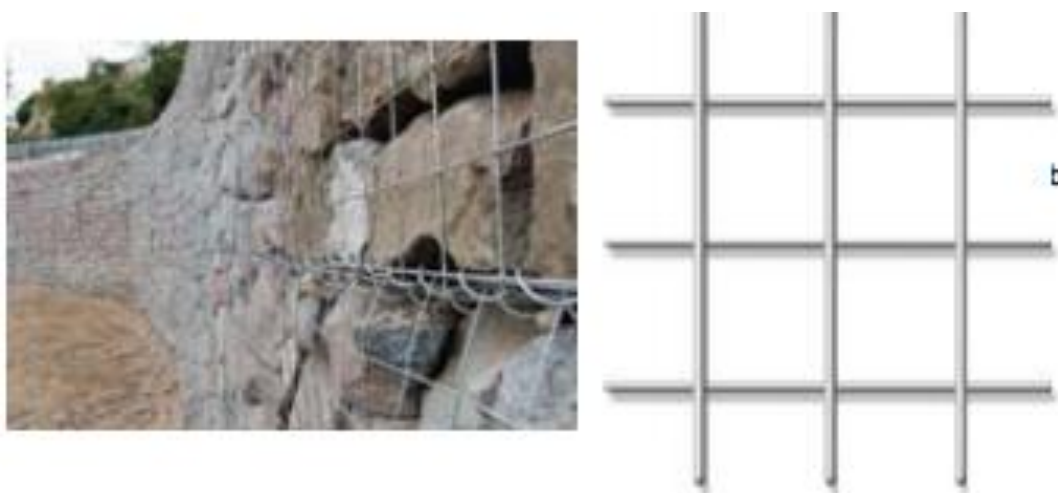


Ilustración 18. Muro de gaviones malla electrosoldada

Fuente: IdealAlambrec

Si se quiere un muro rígido se debe utilizar malla electrosoldada, instalar un número considerable de tirantes por la rigidez, y rellenarlo con cantos angulosos grandes.

Las mallas hexagonales de triple torsión proporcionan mayor flexibilidad con respecto a la malla electrosoldada. Se consigue una mayor capacidad de deformación del muro con la utilización de cantos redondeados.

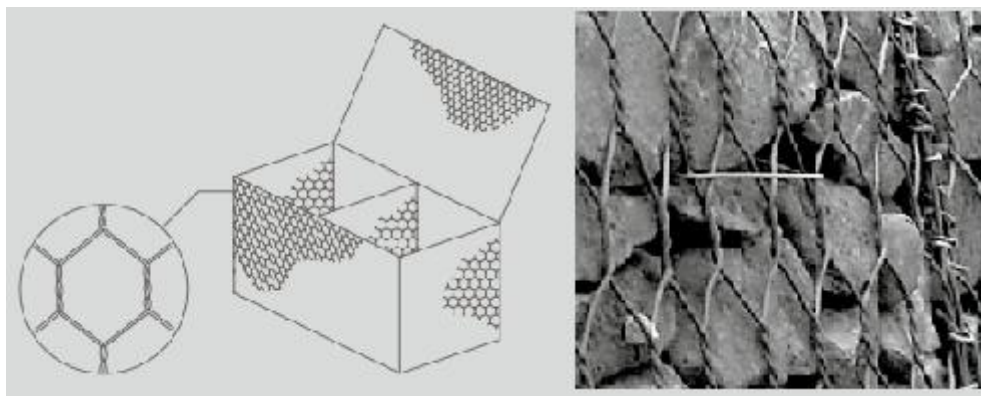


Ilustración 19. Muro de gaviones malla triple torsión.

Fuente: Bianchini

### **3.1.1.1 Ventajas Muro de Gaviones**

En lo que se refiere al impacto ambiental de las obras ingenieriles hoy en día se busca causar la menor afectación posible a la naturaleza. Este tipo de estructuras en gaviones se ajustan de muy buena manera a este concepto, durante su elaboración y durante su vida útil de la obra. Por su composición, este tipo de muros no presentan una defensa impermeable para las aguas de percolación e infiltración, con lo que las líneas de flujo no son perturbadas y el impacto para el medio ambiente es mínimo haciendo posible que el ecosistema se recupere de una manera casi integral.

Por otro lado algunas otras ventajas de estos muros son: la economía comparada con estructuras de concreto, su adaptación al terreno debido a su alta flexibilidad, no precisan de cimentación, son de fácil montaje, no se necesita de mano de obra especializada y su fácil diseño en comparación con otras estructuras.

### **3.1.1.2 Consideraciones en el Diseño**

Para el diseño se debe tomar en cuenta el coeficiente de rozamiento de gaviones, el peso específico de la piedra a usarse como relleno de los gaviones, el porcentaje de huecos que debe ser entre el 20-30%, el coeficiente máximo de compresión.

Además, los elementos estructurales del muro deben ser idóneos para resistir los esfuerzos de corte y momento internos ejercidos por las presiones del suelo y el resto de cargas involucradas. El muro debe ser seguro frente a un posible volcamiento y contra un desplazamiento lateral. Las presiones no deben sobrepasar la capacidad de soporte del suelo. Los asentamientos deben restringirse a valores tolerables y garantizar estabilidad ante deslizamientos de todo tipo.

### **3.1.2 Muro Enrocado (Rip Rap) con estacas**

El muro rip rap es un muro enrocado el cual es una técnica alternativa para la retención de la pendiente del suelo. Se recomienda su uso para alturas de 4 a 5 m, y se puede aplicar extensamente en áreas arenosas sujetas a erosión severa, ayudando a la reconstrucción de zonas afectada por cárcavas y otras formas menos graves de erosión. El sistema vegetalizado consiste en colocar estacas vivas dentro del enrocado. Las estacas pueden colocarse mientras se construye o después de ser construido el muro, aunque es preferible el primero ya que en ocasiones es complicado o imposible la colocación de estacas cuando la estructura se encuentra terminada. Al momento que las raíces operan como

anclaje del enrocado favorecen ambientalmente a lograr un paisaje más agradable y que sea más resistente a la erosión.

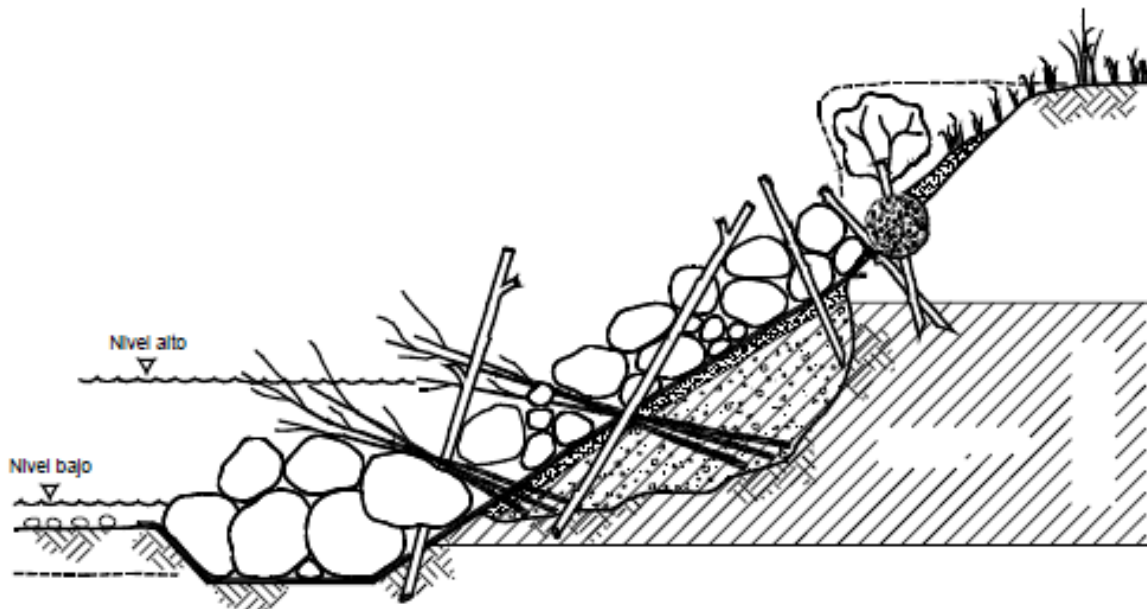


Ilustración 20. Muro enrocado vegetalizado

Fuente: McCullagh

### 3.1.3 Muro Criba

Los muros criba, también conocidos muros jaula, son construidos con dos tipos de vigas cortas que pueden ser de madera o concreto prefabricado unidos entre si formando una especie de cajón. El espacio interno de las cajas es relleno con material granular o roca para proveerle peso y resistencia, para conformar un muro a gravedad. Son estructuras flexibles y fáciles de construir.

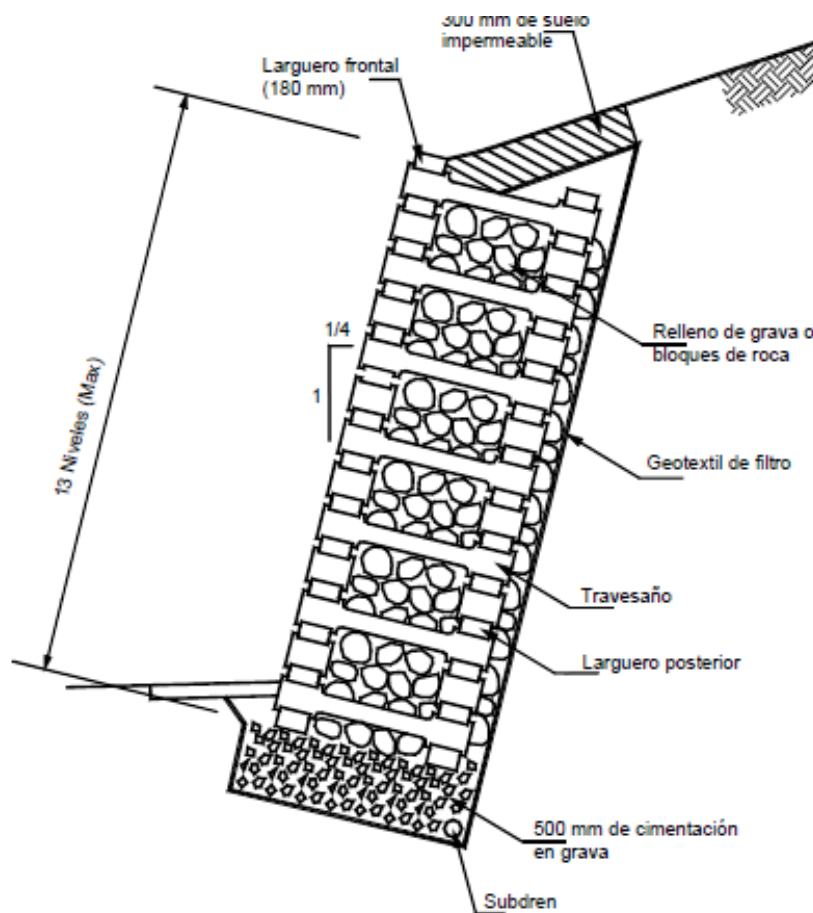


Ilustración 21. Muro Criba

Fuente: Suarez. Control de la erosión

Una ventaja de los muros criba es que permiten un asentamiento diferencial importante. El ancho del muro depende de la longitud de los largueros. Cuando los muros a construirse son hasta 2 metros de altura se los puede construir de manera vertical, si son mayores a esa altura se los debe construir de manera inclinada.

El muro Criba en teoría actúa como un muro a gravedad, pero posee la dificultad de que no es masivo y, por ende, existe la posibilidad de que aparezcan

superficies de rotura por encima del pie del muro. Los largueros deben ser diseñados para resistir la flexión por la presión del relleno sobre los prefabricados.

La altura máxima de estos muros es de 5 metros si se utiliza celdas simples y hasta 7 metros cuando se utilice celdas dobles o triples. Normalmente se construyen para alineamientos rectos pero también son útiles para la construcción con pequeñas curvaturas que no sobrepasen los 20 metros.

### **3.1.4 Muros de Hormigón**

Los muros de contención de hormigón se usan para detener distintas masas cuando las condiciones naturales no permiten su estabilización natural. Dichas condiciones ocurren cuando el ancho de corte, terraplén o excavación se encuentra limitado por condición de propiedad, economía o uso de la estructura. Este tipo de estructuras puede ser de hormigón simple, ciclópeo o armado.

El muro de hormigón simple no es muy usado ni recomendable ya que tiene gran resistencia a compresión pero no se comporta de buena manera ante otro tipo de esfuerzo como tracción, flexión, corte por lo que es necesaria la utilización de acero convirtiéndose en un muro de hormigón armado.

Los muros de contención autoportantes son de varios tipos como se puede ver en la figura.

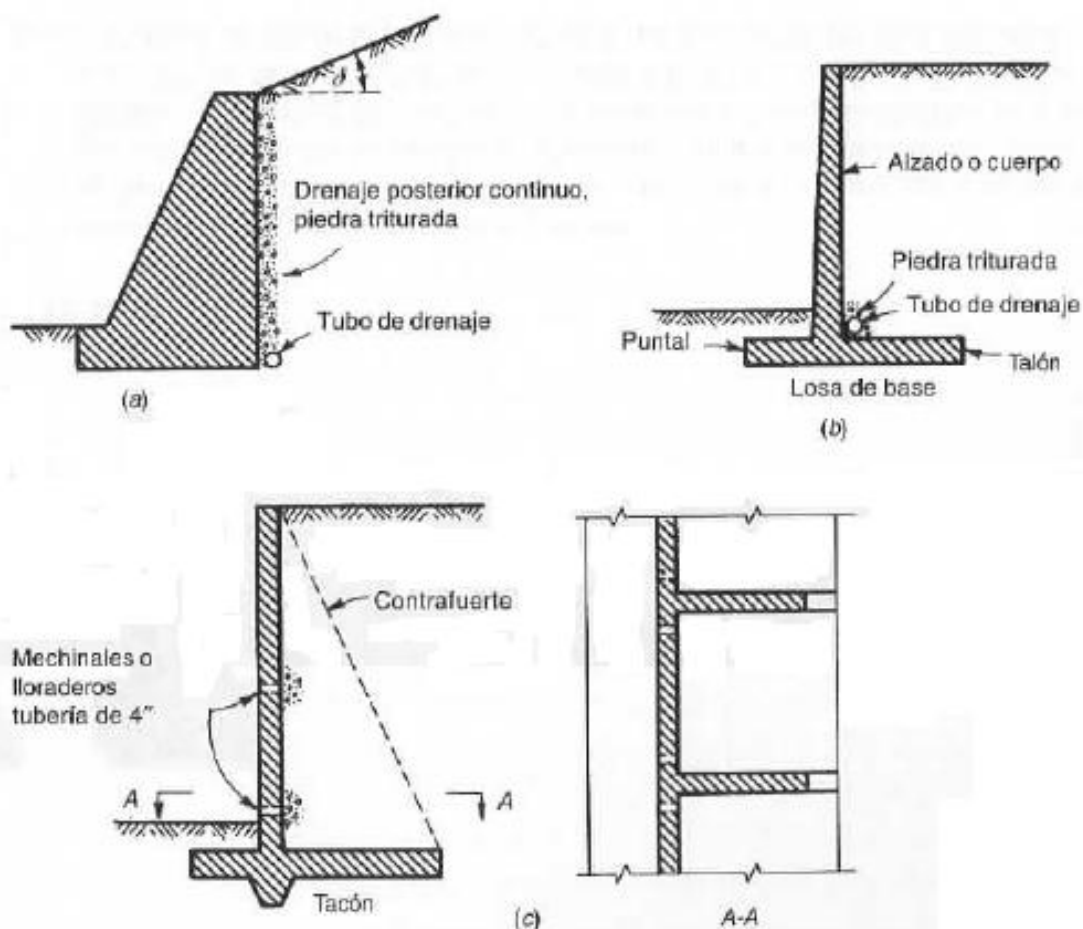


Ilustración 22. Tipos de muro de contención y drenaje. a) muro de gravedad, b) muro en voladizo, c) muro con contrafuertes

Fuente: Nilson. Diseño de estructuras de Concreto

El muro de gravedad contiene la tierra y trabaja con su propio peso. El muro en voladizo está formado de un cuerpo vertical que se encarga de contener la tierra y de una zapata que lo mantiene en posición. Según aumenta la altura del muro se necesita un espesor mayor ya que el cuerpo trabaja en voladizo vertical. Los muros con contrafuertes son útiles en muros verticales de gran altura para reducir los momentos flectores.



La elección del muro depende de una variedad de condiciones como el precio, disponibilidad de material, de su altitud y de la mano de obra. Los muros de gravedad son económicos para muros bajos de hasta 3 metros. Los muros en voladizo son económicos y funcionales en una altura que fluctúa de 3 a 6 metros y los muros con contrafuertes para estructuras de más de 6 metros

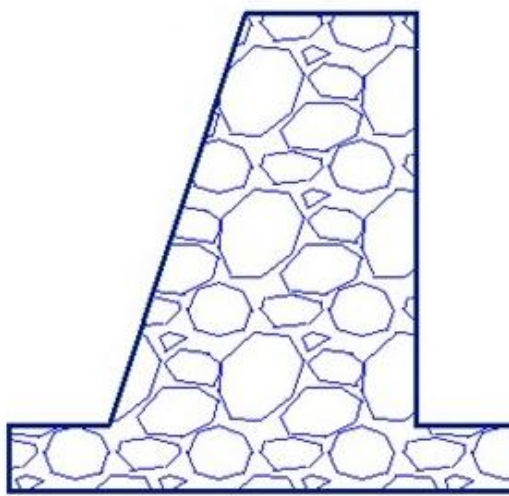


Ilustración 23. Muro de hormigón ciclópeo

Elaborado por: Carlos Andrés Falconí

Los muros de hormigón ciclópeo necesitan como condición indispensable un terreno firme y que no sea susceptible a sufrir deformaciones. Su composición es 40% de roca y 60% de hormigón, hay que tener en cuenta que a mayor cantidad de piedra la posibilidad de agrietamiento en el muro se incrementa. A veces se incluyen varillas de acero en su composición para mejorar su resistencia a flexión.

### 3.2 Protección superficial

La naturaleza suministra el mejor elemento para proteger al suelo de la erosión superficial ocasionada por el efecto del viento y el agua la cual es la vegetación. En algunas ocasiones el problema es demasiado complejo como para ser solucionado solo con métodos naturales como la revegetalización de la zona afectada. Al ocurrir esto es necesario el uso de materiales que protejan de manera permanente al suelo, que evite la erosión del suelo sin causar afectación al medio ambiente ni al ser humano.

Para el control de la erosión se usan materiales geosintéticos y en el caso de la protección superficial el uso de geomantas. Las geomantas son polímeros de avanzada tecnología constituidos por filamentos de poliamida dispuestos aleatoriamente. Estas geomantas son aplicadas en todo el mundo con la finalidad de controlar la erosión, la protección ambiental y en obras de remediación.

La geomanta es un colchón que al colocarse en el suelo le proporciona una mayor resistencia y capacidad de retener las partículas finas del suelo disminuyendo los riesgos de erosiones localizadas en taludes, canales, terraplenes, márgenes y otras áreas endebles a erosión.

La estructura de este polímero proporciona de manera inmediata una barrera que reduce la velocidad del viento y los escurrimientos superficiales del agua de manera que se favorece la sedimentación y se evita la erosión.

Este sistema posee una estructura tridimensional con un 90% de vacíos que actúa como refuerzo constante a las raíces de la vegetación. Para garantizar su

funcionamiento es necesaria una superficie regular para que se forme un sistema de drenaje superficial que impida la concentración de aguas.



Ilustración 24. Protección talud de terraplén

Fuente: MACCAFERRI

### **3.2.1 Protección de márgenes contra la erosión**

Según información obtenida de la empresa MACCAFERRI la geomanta Enkamat 720 es la mejor para este tipo de trabajos, debido a que presenta una estructura más densa en el lado superior y plana en el inferior que le permite retener piedras pequeñas de 2 a 6 milímetros. Este material además de proporcionar su función principal de controlar la erosión brinda un refuerzo a las raíces el cual hace más sencillo la recuperación del paisaje después de la obra.



Ilustración 25. Protección de márgenes con Enkamat 720

Fuente: MACCAFERRI

### 3.2.2 Protección de taludes

Para la protección de taludes especialmente los que poseen pendientes fuertes y los compuestos por superficie rocosas se utiliza una geomanta especial llamada MacMat-R. Este polímero combina la estructura del Enkamat anteriormente mencionado con un refuerzo dado por una malla hexagonal de doble torsión. Este tipo de malla es la misma que se utiliza en los gaviones con un recubrimiento de zinc o PVC.

Esta combinación forma una banda de fijación para que las semillas sean germinadas ayudando a que se genere una vegetación densa en condiciones poco favorables como son taludes rocosos y empinados



Ilustración 26. Protección pendiente con MacMat-R

Fuente: MACCAFERRI

### **3.2.3 Estabilización del suelo**

Esta geomanta MacMat-R también es utilizada en rellenos sanitarios en la combinación con mallas de alta resistencia que estabilizan el suelo, protege la geomembrana contra daños mecánicos al taparla con tierra y protección contra la fotodegradación.

### **3.2.4 Proceso de colocación de la geomanta**

Nivelación: Nivelar el terreno que va a ser protegido compactando el suelo y dejándolo sin vegetación, raíces y piedras. Cavar trincheras de anclaje en la parte superior del talud y en el contorno de toda la superficie. Estas trincheras deben tener al menos 30 cm de profundidad.

Instalación: Colocar la geomanta de manera uniforme en las trincheras del borde del talud y desarrollarla a lo largo de la superficie. Se la puede colocar de abajo hacia arriba o viceversa, excepto cuando la pendiente es considerable en cuyo caso se recomienda colocar de arriba hacia abajo transversalmente a la extensión del talud.

Trincheras: Rellenar las trincheras de anclaje y compactarlas.

Traslapes: En cursos de agua los traslapes deben ser colocados cada 15 centímetros en dirección de aguas arriba hacia aguas abajo. Para taludes los traslapes deben ser colocados cada 10 centímetros por rollos de 1 metro y cada 5 centímetros por rollos de 2 metros.

Anclajes intermedios: Este anclaje es realizados para asegurar el completo contacto entre el polímero y el suelo.

Sembrado: se recomienda el sembrado a mano en márgenes arriba del nivel de agua, y también es recomendable la hidrosiembra.

Cobertura: se recomienda una cobertura con 10 milímetros de suelo que optimiza la geomanta.

### **3.3 Revestimiento Pendientes**

Al momento de construir una obra en territorios montañosos es notoria la cantidad de roca, tierra y detritos que caen de las pendientes dominantes de la zona que hace peligrosa su ejecución. Par la protección ante este fenómeno se utiliza la

protección por medio de redes metálicas a malla hexagonal como precaución de mayor economía, validez y eficacia.

Estas actividades tienen el propósito de evitar las superficies que se encuentran expuestas a desprendimientos producidos por la erosión del suelo. Estas intervenciones obstaculizan y regulan la caída de rocas a infraestructuras de protección subyacentes como son: barreras, muros de contención, etc.

### **3.3.1 Características y especificaciones de las redes metálicas**

Las redes metálicas hexagonales para que sean eficaces deben cumplir ciertas características fundamentales: la red no debe ser susceptible a desmalladuras fáciles, la red debe poseer alta resistencia mecánica para resistir los efectos de la corrosión provocada por la contaminación ambiental, la red debe poseer alta flexibilidad y ser de fácil colocación.

La red hexagonal deberá ser de doble torsión obtenidos al entrecruzar dos hilos tres medios giros. Los alambres para la fabricación de la red deberán tener recubrimiento de PVC y poseer un diámetro mayor o igual a 2,2 mm y verificado según la norma de especificaciones federal de los Estados Unidos.

El revestimiento de PVC deberá ser de un espesor no inferior a 0,4 mm y cumplir las normas ASTM.

### 3.3.2 Colocación y aplicación

La colocación y esquema de las redes depende de la inclinación del talud, de las características geofísicas del terreno, del tamaño de los materiales que pueden desprenderse y de la posibilidad de fijación de anclajes en los extremos superiores e inferiores.

Anclaje en el extremo superior: La red deber ser anclada firme en el tope del terreno y doblado en sí mismo por 0,3-0,5 metros. El sistema depende según la morfología del terreno.

En el caso de ser roca dura con hendiduras poco deteriorable se recomienda el uso de clavos con diámetro variable entre 10-15 mm distanciados entre 1-2 metros.



Ilustración 27. Colocación de anclajes

Fuente: MACCAFERRI



Cuando es roca compacta con posibilidad de deterioro se prefiere realizar agujeros de 0,5 m de profundidad donde se colocar varilla de 14-16 mm de diámetro a una distancia de 1,5-2,0 metros doblados y rellenos con mortero.

En terreno compacto se aconseja orificios de 0,5 a 0,8 metros con hierro de 18-20 mm de diámetro con un gancho para sujetar la red. En todos los casos descritos es aconsejable que los cables o varillas sean unidos con un cable de acero de 8mm para ser ligado a la red.

Para terreno vegetal sin consistencia se recomienda colocar los anclajes en cubos de hormigón a los que se sujetará la red por medio de un cable de acero galvanizado.



Ilustración 28. Colocación de anclajes a lo largo de la pared

Fuente: MACCAFERRI

Anclajes a lo largo de la pared: antes de extender las redes es necesario quitar las rocas de mayor inestabilidad y en algunos casos es necesario el uso de explosivos. En algunos tramos va a ocurrir superposición de telos (cada hexágono de la malla) especialmente donde exista curvas, pero es preferible la superposición a cortarlas ya que esto debilitaría la estructura.

Sistematización al pie: existen dos alternativas, la primera, dejar libre la extremidad inferior al pie de la red unos 30 centímetros para quitar fácilmente los detritos depositados, o la segunda, con anclajes al pie que retenga los detritos para ser levantados cada cierto tiempo para su remoción y posteriormente volver a anclarlos.



Ilustración 29. Sistematización al pie

Fuente: MACCAFERRI

### 3.3.3 Barreras parapeñascos

En ocasiones que no se pueda realizar un revestimiento completo de la pendiente se realiza una combinación utilizando las barreras parapeñascos.

La idea es obstaculizar los desprendimientos de roca con una malla de iguales características a la mencionada anteriormente.

La red viene fijada a perfiles de acero verticales en intervalos prudentes que se encuentran situados sobre bases de hormigón armado. Se insertan en la red cables de acero que son anclados en los perfiles fortaleciendo la estructura.

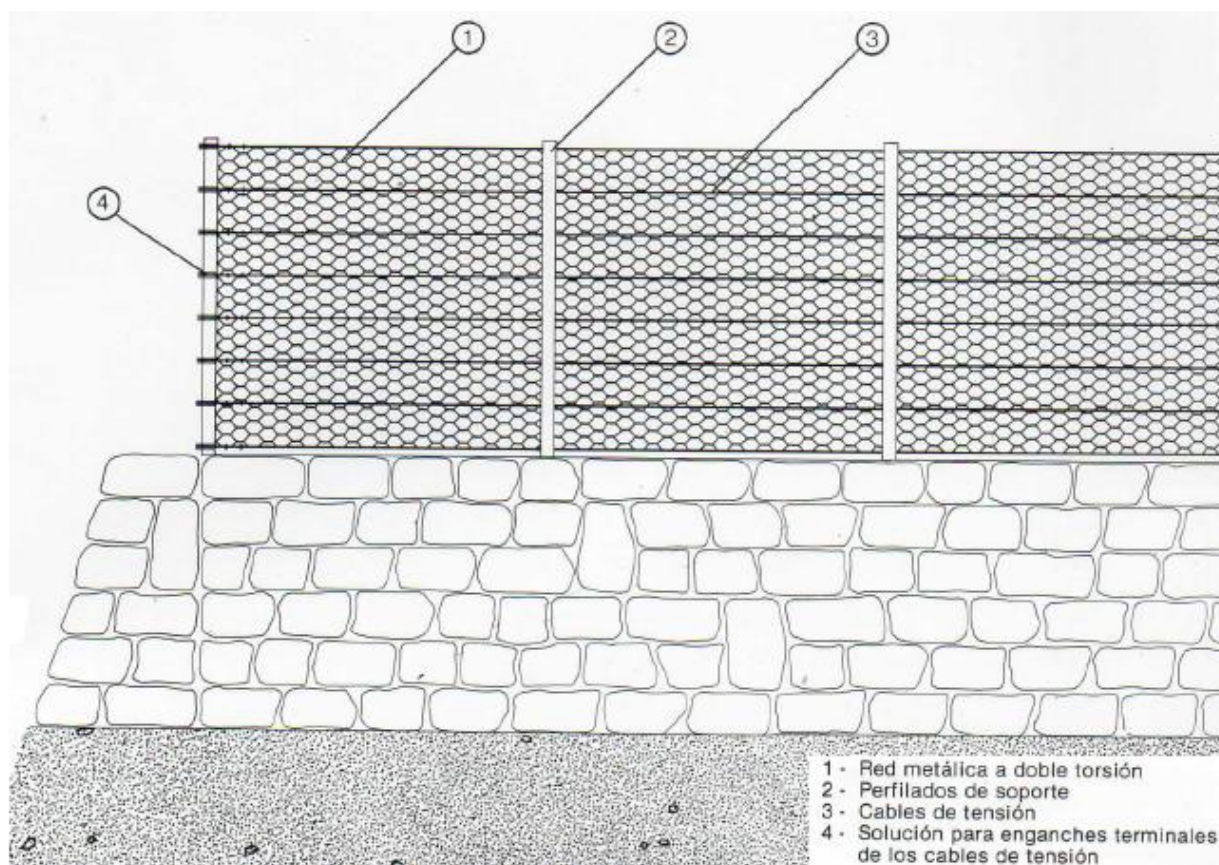


Ilustración 30. Esquema general de barreras parapeñascos

Fuente: MACCAFERRI

### 3.3.4 Diseño del Revestimiento

Para diseñar el revestimiento de una pendiente hay que definir y tomar en cuenta los siguientes aspectos: la pendiente y forma del talud, grosor de las capas de revestimiento, los materiales de las capas, protección en el pie de la pendiente y si es necesario obras de estabilización adicionales.

Además, hay que tener en cuenta varios parámetros para realizar el diseño conceptual según la situación observada en la zona, estas características se describen a continuación:

Los parámetros hidráulicos son fundamentales para definir el tipo de revestimiento y su tamaño. Aquí es necesario conocer la velocidad promedio, la turbulencia del flujo, los niveles del flujo y principalmente el período de retorno que se va a utilizar para el diseño de la infraestructura.

Se debe considerar las condiciones ambientales para proteger el ecosistema afectando de la menor manera y colaborando con las necesidades de la naturaleza y de la población del sitio influenciado.

La geología describe las propiedades mecánicas del suelo, su litología y su erosionabilidad.

No hay que dejar de lado la revisión de la disponibilidad de material y analizar el mantenimiento de la obra.

Uno de los factores principales a determinar es el costo, debido a que según la economía del propietario de la obra se selecciona el tipo de revestimiento a utilizar.

Adicionalmente a todos los parámetros mencionados se debe verificar que la ejecución y diseño de la infraestructura este amparado en el marco legal de cada país.

### **3.4 Diseño de Taludes**

Talud se entiende como cualquier extensión de superficie empinada respecto a la horizontal que dicha estructura de tierra vaya acoger de forma permanente.

Para el diseño de las obras de control de la erosión en un talud se debe efectuar y considerar las condiciones geológicas, ambientales e hidrológicas con el fin de saber la conducta del talud una vez construido. Cuando existan problemas de erosión o de deslizamientos se debe examinar los posibles elementos de falla y ponderar el desequilibrio.

Los problemas que se presentan en los taludes se dan principalmente por la presencia del agua de precipitaciones, escorrentía y aguas subterráneas, siendo el control de ellas vital el momento de la construcción.

Los componentes de los suelos y las rocas son complejos, diversos y propensos a malograrse con el paso del tiempo. Para disponer la forma del talud y el grado de su pendiente hay que tomar en cuenta todos los factores.

En algunos casos se necesita construir bermas en los sitios de cambios de pendiente para asegurar el debido factor de seguridad.

Si el sitio de construcción del talud posee suelos erosionables son inminentes el uso de bermas con una pendiente que va entre el 5–10 % hacia el interior del talud con su respectiva cuneta para el manejo de la escorrentía. Dicha berma debe garantizar el no estancamiento del agua y la salida eficaz de esta, por lo que es necesaria una pendiente longitudinal mínima del 3 %.

El uso de terrazas es recomendable para el control de la erosión y que se establezca la vegetación.

#### **3.4.1 Terraza acanalada**

Para evitar el flujo libre de escorrentía es necesario un corte en ángulo recto de la pendiente máxima con el fin de interceptar la escorrentía.

La terraza acanalada es un canal excavado formando un talud por debajo del canal con la tierra obtenida de la excavación del canal. Existen terrazas acanaladas de diferentes tipos como son: de Magnum, de Nichols, de base estrecha y de base ancha.

La diferencia entre la terraza tipo Magnum y Nichols radica en la dirección que se acumula la tierra extraída; mientras que entre las de base estrecha y ancha, como su nombre lo indica, en su anchura total, siendo la estrecha entre 3-4 metros y la de base ancha de 4-15 metros.

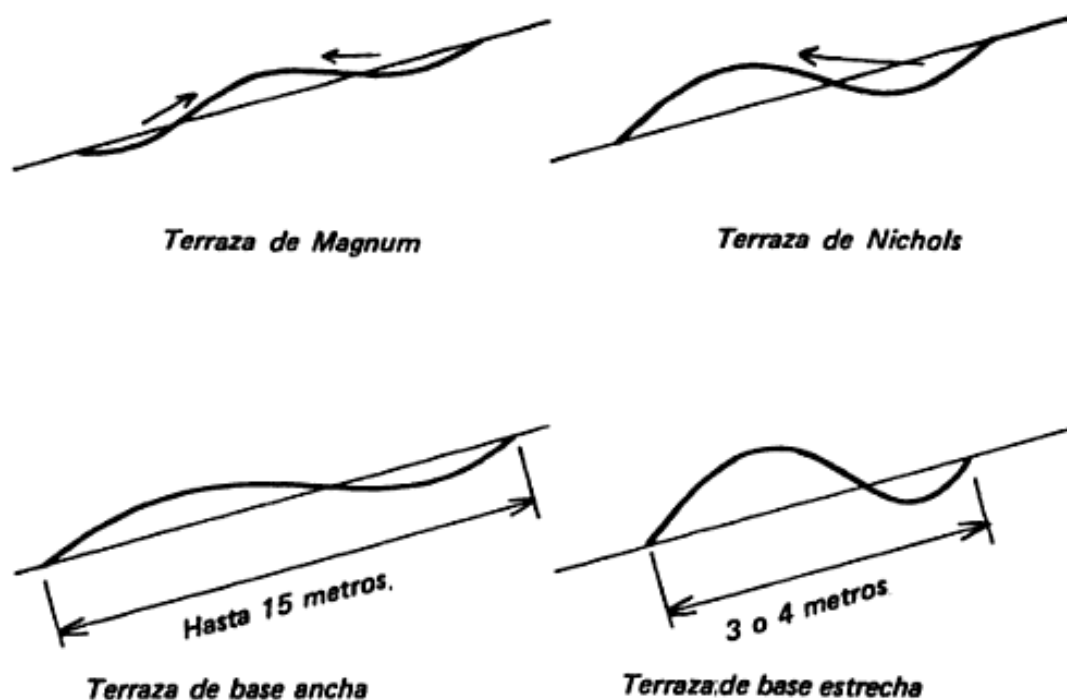


Ilustración 31. Terrazas acanaladas

Fuente: Hudson. Conservación del suelo

### 3.4.2 Terraza o bancale

Los bancales son una serie de escalones, siendo la parte superior del escalón horizontal y taludes verticales que le dan su forma. También reciben el nombre de terrazas escalonadas con la característica que captan una cierta retención de aguas de infiltración.



Ilustración 32. Terraza escalonada

Fuente: Corral. Unidad a el viajar.

### 3.4.3 Consideraciones al construir un talud

Hay que considerar la constitución geológica ya que dependiendo de esto varía la forma del talud. Las rocas ígneas, calizas y areniscas admiten taludes de alturas considerables y casi verticales; mientras que con las lutitas no es posible la realización de taludes verticales.

Además, en lugares donde existe riesgo o peligro sísmico no es práctico la construcción de taludes con pendientes mayores a  $1/2H: 1V$ . Si los suelos no tiene una cohesión alta y son saturados los taludes no deben ser mayores a  $2H: 1V$ .

Cuando la meteorización incrementa se requieren taludes de mayor extensión, y de menor altura entre las bermas que lo conforma siendo más anchas estas



bermas. El factor de seguridad del talud dependerá del riesgo estimado según el peligro que puede correr la vida del ser humano.

El diseño de un talud tiene que contener como mínimo los consecuentes elementos: diseño de la forma del talud, con sus respectivas pendientes y bermas, la protección del talud para su estabilización y el control de las aguas de escorrentía.

#### **3.4.4 Drenaje Superficial**

La idea del drenaje superficial es disminuir y evitar la erosión, que la infiltración sea menor y que el talud sea estable.

El agua de escorrentía se prevee sea descarriada antes de que llegue a la corona del talud.

La captación de las aguas de escorrentía debe trasladar el agua lejos del talud para garantizar su estabilidad ya sea con zanjas que lo intercepten o canales que trasladen el agua.

La escorrentía recogida depende de la pendiente, intensidad de lluvia, vegetación y tipo de suelo. Las obras para controlar la escorrentía tienen que diseñarse para un período de retorno entre 100-500 años variando según su importancia.

Para el drenaje de taludes se calcula la cantidad de agua con la siguiente fórmula para el cálculo del caudal:

$$Q = (C \times I \times A) / 360$$

Dónde:

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

C = Coeficiente de escorrentía en función de cobertura superficial

I = Intensidad de lluvia (mm/hora)

A = Área a drenar (Ha)

El área a drenar se debe establecer a través de un plano con líneas de nivel, precisando los bordes topográficos de las zonas que contribuyen con agua al sistema de drenaje.

El tiempo de concentración se precisa como el tiempo máximo que el agua se demora desde el momento que se encuentra en el extremo superior del área de drenaje hasta el momento que llega al colector dispuesto para estas aguas.

## 4. CAPÍTULO 4 EJEMPLIFICACION DE LAS OBRAS

### 4.1 Ejemplificación de las obras en la zona de Salcedo



Ilustración 33. Ejemplificación obras

Fuente: Instituto Geográfico Militar modificado por Carlos Andrés Falconí.





Ilustración 35. Muro de Gaviones

Elaborado por Carlos Andrés Falconí

#### 4.1.2 Terrazas

El uso de terrazas es recomendable para el control de la erosión y que se establezca la vegetación.

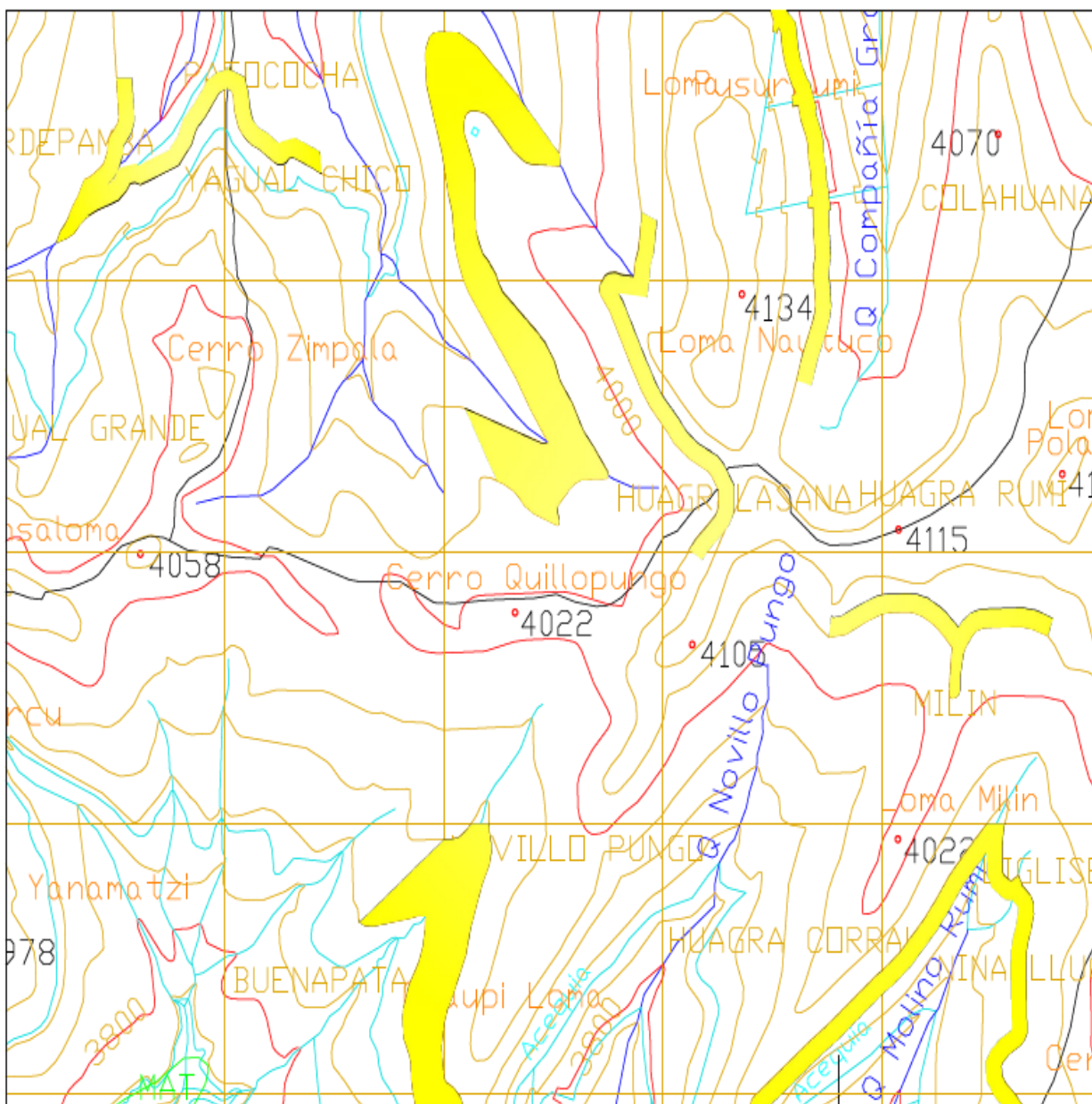


Ilustración 36. Terrazas

Elaborado por Carlos Andrés Falconí.

La construcción de terrazas tiende a disminuir el momento actuante y controlar el movimiento ante un posible deslizamiento.



Ilustración 37. Terrazas

Elaborado por Carlos Andrés Falconí.

### 4.1.3 Bosque

La vegetación de árboles nativos de la zona está compuesta por polylepis, pinos y capulí razón por la cual se recomienda el uso de estas especies en la forestación de la zona seleccionada.



Ilustración 38. Árboles nativos

Elaborado por Carlos Andrés Falconí.

Los árboles forman cinturones de protección de campo que reducen la velocidad del viento al interponerse en su línea de acción. A su vez la raíces de los árboles absorben el agua evitando su presencia en exceso.



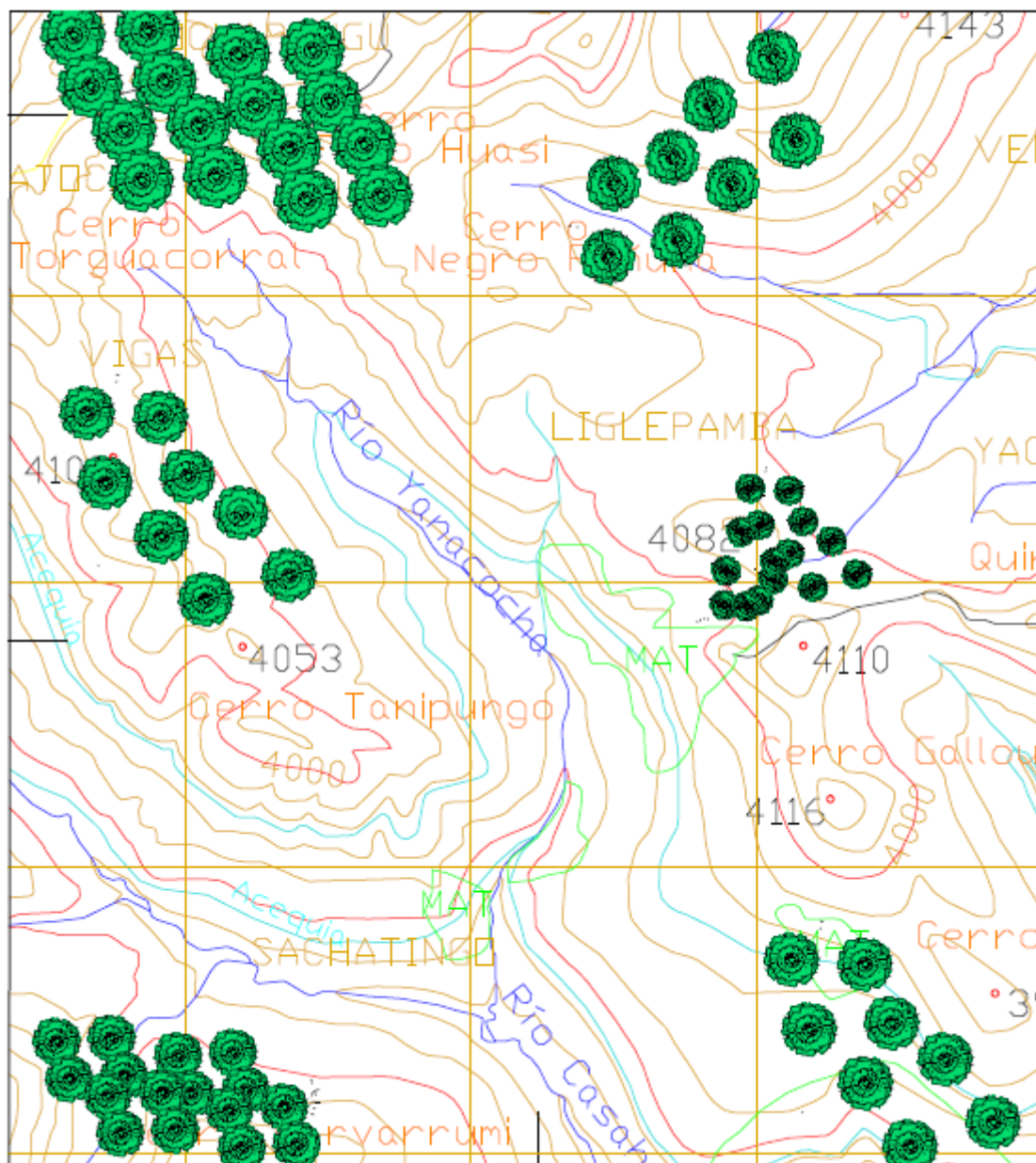


Ilustración 39. Bosque

Elaborado por Carlos Andrés Falconí.

#### 4.1.4 Protección superficial

Para la protección superficial se usa geomanta que le da al suelo una mayor resistencia y capacidad de retener las partículas finas disminuyendo los riesgos de erosiones en taludes, canales, terraplenes, márgenes y otras áreas endebles a

erosión. Este tipo de polímero suministra una barrera que reduce la velocidad del viento y los escurrimientos superficiales del agua beneficiando a la sedimentación y evitando la erosión.

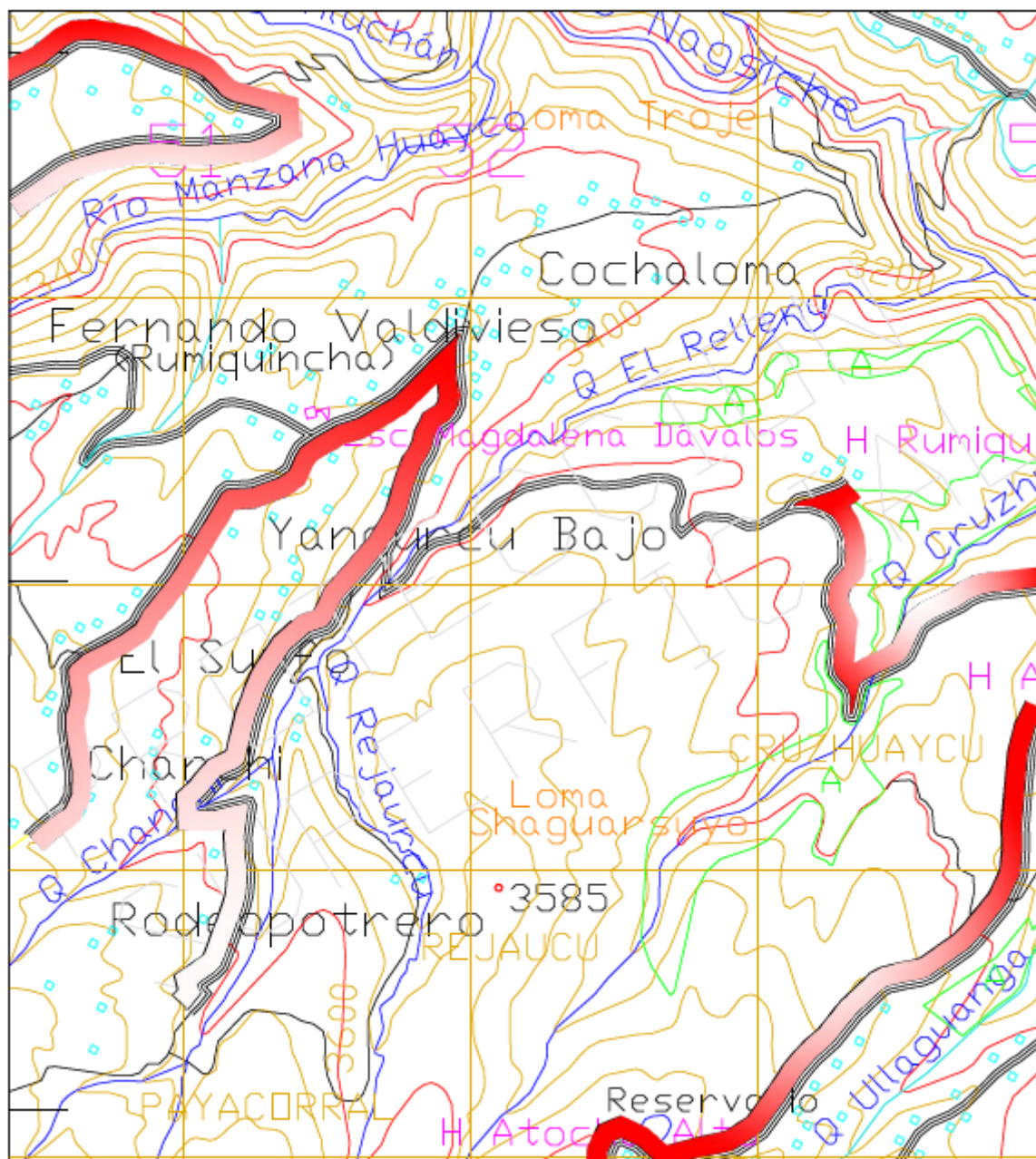


Ilustración 40. Protección superficial

Elaborado por Carlos Andrés Falconí.



Ilustración 41. Protección con geomanta

Elaborado por Carlos Andrés Falconí.

## **5. CAPÍTULO 5 BASES TEÓRICAS ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**

### **5.1 Estudio de Impacto Ambiental**

El estudio de impacto ambiental (EslA) es un documento que faculta determinar si el proyecto u obras que se pretende realizar tienen la capacidad de asumir los efectos ambientales que generan, a través de la aplicación de medidas de atenuación, resarcimiento y reparación.

El ser humano debe ser agradecido de todo lo que recibe de la naturaleza y por ende debe hacer lo posible para obtener un medio sano, de tal manera que exista un equilibrio entre el entorno material que nos brinda el medio ambiente y su estabilidad para las generaciones actuales y la venideras.

En la actualidad se posee la capacidad y la infraestructura necesaria para evitar el deterioro ambiental con costos mínimos si se lo relaciona con los altos costos que la humanidad tendrá que sufrir a largo y mediano plazo si no se toman los recaudos imperiosos. La idea es constituir una solución para que todos los involucrados coexistan y se desarrollen afectando de la menor manera posible al medio ambiente.

Se refiere a impacto ambiental al momento que una acción a realizarse en el proyecto conlleva como consecuencia una variación, ya sea esta favorable o desfavorable en el medio o en alguno de sus elementos.

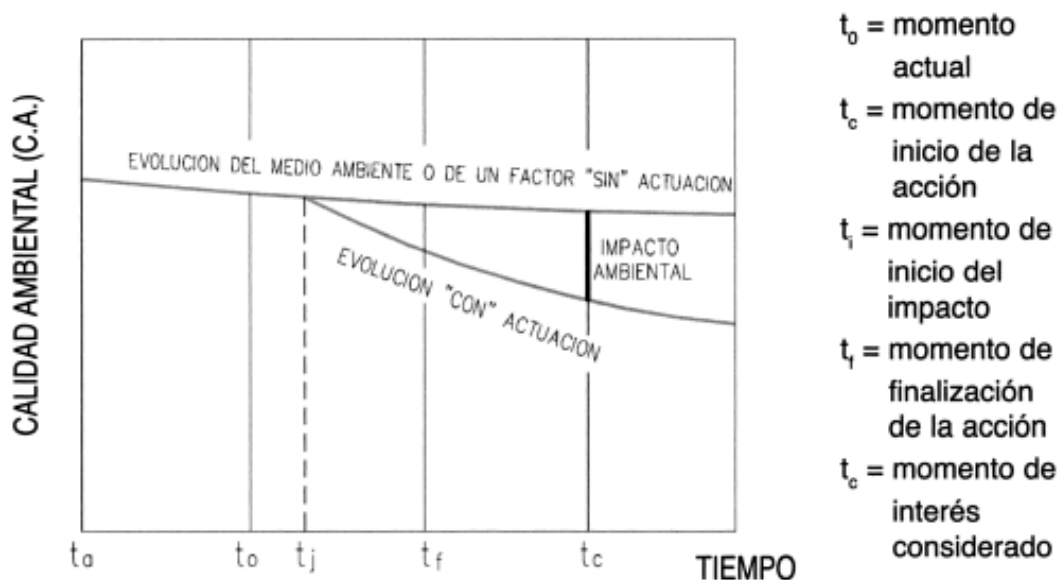


Ilustración 42. Impacto ambiental

Fuente: Conesa Fernández. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental.

La acción antes mencionada, no solo hace referencia a proyectos de ingeniería como es el caso, también es utilizada en la valoración de impactos para planes, leyes u otros proyectos que se relacionen con implicaciones ambientales.

Según Conesa Fernández, Los impactos ambientales serán identificados cuando el proyecto afecte a cualquiera de los factores que se mencionan a continuación:

- Flora y fauna
- Ser humano
- Agua, paisaje, suelo, aire, clima.
- Bien Material
- Patrimonio cultural

Es válido hacer referencia que el término impacto no se refiere a algo negativo de manera necesaria sino que es un término usado como valoración el cual puede ser positivo o negativo.

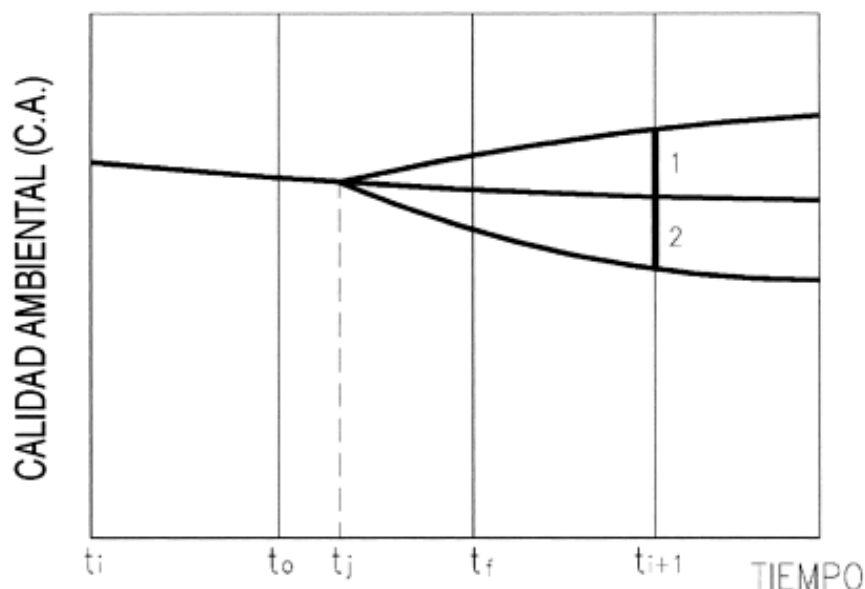


Ilustración 43. Impacto positivo (1), negativo (2).

Fuente: Conesa Fernández. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental.

La fragilidad del territorio ante los impactos depende de sus particulares, derivada de los elementos que coinciden en la zona de afectación como son: clima, topografía, presencia de agua, tipo de suelo, vegetación, entre otros. Ante una misma intensidad de acción se causará un impacto de mayor gravedad en donde la fragilidad sea mayor.

Cuando los impactos son directos implican pérdida parcial o total de un recurso o detrimento de una variable ambiental, mientras que cuando son indirectos provocan y componen otros deterioros sobre el ambiente.

Una variación ambiental, correspondiente a aspectos de la fragilidad del territorio, puede ser determinada por una serie de características como son:

- La magnitud del impacto (extensión, cantidad e intensidad).
- El significado del impacto manifiesta a su importancia, es decir la afectación.
- Carácter del impacto (positivo o negativo).
- El tipo de impacto representa la forma en se produce (directo, indirecto, sinérgico).
- Duración del impacto (largo plazo, corto plazo).
- Reversibilidad del impacto (reversible, irreversible).
- Riesgo del impacto (alto, bajo, medio)

## **5.2 Matriz de importancia**

Las metodologías conciernen a enfoques que desenvuelven la identificación, predicción y evaluación de los impactos ambientales de un proyecto.

Para el caso de esta tesis la metodología a usar para cuantificar los impactos de las obras civiles para disminuir la erosión será por medio de la matriz de importancia.

Una vez que se haya identificado las acciones que se presume se verán afectadas se obtendrá una valoración cualitativa con la matriz previamente mencionada.

Cada cruce en la matriz nos proporciona una idea del impacto de cada acción a ser realizada. A continuación se va a describir el significado de los símbolos de elemento tipo que se utilizan en la elaboración de la matriz.

±	IN
EX	MO
PE	RV
SI	AC
EF	PR
FC	<b>I</b>

Ilustración 44. Elementos tipo matriz de importancia.

Elaborado por: Carlos Andrés Falconí.

El signo (±) identifica si la acción es favorable (+) o perjudicial (-) sobre los distintos factores a ser considerados. Adicionalmente existe el símbolo (x) utilizado rara vez que se utiliza en casos difíciles de predecir o subjetivos.

Intensidad (IN) describe el grado de incidencia sobre el factor afectado. El rango de afectación va de 1-12, siendo (12) Intensidad Total y (1) Intensidad Baja o Mínima. Los valores que se encuentren entre 1 y 12 serán situaciones intermedias, Intensidad Muy alta (8); Intensidad Alta (4); Intensidad Media (2).

Extensión (EX) se refiere al fragmento del entorno que se ve afectado por la realización del proyecto. Cuando la acción produce un efecto muy reducido el impacto es considerado Puntual (1). Por otra parte, si el efecto no tiene una ubicación precisa y posee una influencia general en el entorno es calificado como



impacto Total (8). Para calificar los impactos intermedios se tiene como impacto Parcial (2) e impacto Extenso (4).

Momento (MO) este término representa el plazo la exposición del impacto. Si la aparición es inmediata (4); si el impacto se manifiesta a corto plazo (3): cuando el impacto se da a mediano plazo (2); y si ocurre a largo plazo (1).

Persistencia (PE) identifica el tiempo que se supone el efecto permanecerá hasta retornar a las condiciones iniciales. Se asignara valores según el efecto, en caso de ser Momentáneo (1), si es Temporal (2), si la manifestación es Permanente (3) y finalmente si es permanente (4).

Reversibilidad (RV) se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado en el proyecto de manera natural. El impacto se considera reversible cuando puede volver a su forma original sin la intervención del ser humano en un período menor a 15 años. Siendo su valoración si es a corto plazo (1); a mediano plazo (2); y a largo plazo (3). Al efecto irreversible se le asigna un valor de (4) y esto ocurre cuando el factor afectado tardará volver a su forma original sin la intervención del ser humano en un período mayor a 15 años.

Recuperabilidad (MC) se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado en el proyecto con intervención humana ya sea de manera total o parcial. Si se lo puede recuperar tendrá un valor de (1) si es de manera inmediata, (2) si es a corto plazo, (3) cuando se a mediano plazo, o (4) si es a largo plazo. En el caso de que el efecto se irrecuperable se le adjudicará un valor de (8).

Manifestación de los efectos	Atributos							
	Momento		Persistencia		Reversibilidad		Recuperabilidad	
	$t_m=t_j - t_o$	V	$t_p=t_r - t_j$	V	$t_{REV}=t_r - t_f$	V	$t_R=t_{rMC} - t_{oMC}$	V
$t=0$	Inmediato	4	Fugaz	1	Inmediato	1	Inmediato	1
$t < 1$ año	Corto plazo	3	Corto plazo	1	Corto plazo	1	Corto plazo	2
$1 < t < 10$ años	Medio plazo	2	Medio plazo	2	Medio plazo	2	Medio plazo	3
$10 < t < 15$ años	Largo plazo	1	Persistente	3	Largo plazo	3	Largo plazo	4
$t > 15$ años	Largo plazo		Permanente	4	Casi Irreversible	3	Recuperable	
$t \gg 15$ años			Constante	4	Irreversible	4	Irrecuperable	
Indistinta	Crítico	(+1) a (+4)	-	-	-	-	Mitigable, compensable	4

Ilustración 45. Manifestación efectos según atributos

Fuente: Conesa Fernández modificado por Carlos Andrés Falconí.

Sinergia (SI) es un término usado para expresar cuando dos o más acciones producen un efecto mayor a la adición de ambos efectos por separado. Si dicha acción no es sinérgica se la cuantifica como (1), en el caso de ser moderada la sinergia (2) y si posee un sinergia pronunciada (4).

Acumulación (AC) identifica como aumenta el efecto. Si la acumulación es simple tiene un valor de (1) y mientras incrementa a una forma acumulativa se le da un valor de (4).

Efecto (EF) este término es estrechamente congruente con la relación causa-efecto, es decir, como se manifiesta el efecto por consecuencia de la acción. Dado que el efecto sea directo toma una valoración de (4) y si ocurre que el efecto sea indirecto tiene un valor de (1).

Periodicidad (PR) expresa la regularidad de manifestación del efecto. Si los impactos son de ocurrencia irregular se los califica como (1), si son periódicos (2) y en el caso de ser continuos con un valor de (4).

Importancia de Impacto (I) se refiere a la evaluación del impacto en referencia con el nivel de exposición cualitativa del efecto. La importancia del efecto se la calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$I = \pm (3 IN + 2 EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$$

El valor obtenido de importancia de impacto está entre 13 y 100.

Cuando los valores obtenidos son menores a 25 se los considera irrelevantes. Serán impactos moderados cuando los valores de importancia fluctúen entre 25 y 50; mientras que si el resultado varía entre 50 y 75 son impactos severos. Por último, se expresa como impactos críticos cuando la importancia de impacto está entre 75 y 100.

Una vez obtenido el resultado de los impactos ambientales para la acción y sus opciones, en el caso de existir, es viable constituir comparaciones y tomar decisiones en relación con las ventajas y desventajas ambientales de ejecutar cada una de las diversas obras existentes

<b>Naturaleza</b>		<b>Intensidad (IN)</b> (Grado de Destrucción)	
Impacto Beneficioso	+	Baja	1
Impacto Perjudicial	-	Media	2
		Alta	4
		Muy Alta	8
		Total	12
<b>Extensión (EX)</b> (Área de Influencia)		<b>Momento (MO)</b> (Plazo de manifestación)	
Puntual	1	Largo plazo	1
Parcial	2	Medio plazo	2
Amplio	4	Corto plazo	3
Total	8	Inmediato	4
Crítico	(+4)	Crítico	(+4)
<b>Persistencia (PE)</b> (Permanencia del efecto)		<b>Reversibilidad (RV)</b> (Reconstrucción por medios naturales)	
Fugaz	1	Corto plazo	1
Momentáneo	1	Medio plazo	2
Temporal	2	Largo plazo	3
Persistente	3	Irreversible	4
Permanente	4		
<b>Sinergia (SI)</b> (Potenciación de la manifestación)		<b>Acumulación (AC)</b> (incremento progresivo)	
Sinergia simple	1	Simple	1
Sinergia moderada	2	Acumulativo	4
muy sinérgico	4		
<b>Efecto (EF)</b> (Relación causa - efecto)		<b>Periodicidad (PR)</b> (Regularidad de la manifestación)	
Indirecto	1	Irregular	1
Directo	4	Periódico	2
		Continuo	4
<b>Recuperabilidad (MC)</b> (Reconstrucción por medios humanos)		<b>Importancia (I)</b> (Grado de manifestación cualitativa del efecto)	
De manera inmediata	1	$I = \pm(3 IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$	
A corto plazo	2		
A medio plazo	3		
A largo plazo	4		
Mitigable, compensable	4		
Irrecuperable	8		

Ilustración 46. Importancia Impacto

Fuente: Conesa Fernández modificado por Carlos Andrés Falconí.

## 6. CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones y recomendaciones

La erosión es un proceso de desprendimiento y traslado acelerado de las partículas de suelo causado por el agua y el viento.

La erosión del suelo que nos incumbe es la acelerada que es un proceso indeseable, la cual es provocada por las actividades del hombre siendo susceptible por lo que hay que corregirla.

La importancia de actividades que desarrollen la prevención y disminución de la erosión del suelo es validada por el desbalance existente entre la tasa de formación y de pérdida de suelo, y las pérdidas económicas que implica el fenómeno erosivo.

Los mecanismos que intervienen en la erosión hídrica son mediante el impacto de agua lluvia y el agua de escurrimiento.

Los principales variables que establecen la erosión ocasionada por el agua son: el clima, las características físicas del suelo, la topografía y la vegetación

La erosión hídrica se manifiesta en formas distintas que por lo general se las presentan dependiendo del daño que representan para los suelos y estas son erosión laminar, erosión digital o por surcos y erosión por zanjas o cárcavas.

La erosión eólica es un proceso natural que se ve incrementado por la intervención de los humanos en el uso indiscriminado de la tierra, la construcción sin control, la deforestación, actividades agrícolas y la urbanización.

El proceso de erosión teniendo como agente principal al viento se divide en tres fases simples pero diferentes: iniciación del movimiento, transporte y depósito.

La erosión eólica depende de la erodibilidad y erosividad del viento. La erodibilidad del suelo es la susceptibilidad con que un suelo es erosionado según sus propiedades intrínsecas; y la fuerza del viento es el factor principal que afecta la erosividad.

La construcción de carreteras y edificios y la deforestación indiscriminada aumenta la tasa de erosión eólica.

La erosión eólica reduce la capacidad del suelo para almacenar nutrientes y agua, provoca acumulación de sedimentos en embalses naturales y artificiales y disminuye la calidad del agua.

Los muros de gaviones son estructuras de contención a gravedad cuya finalidad es detener masas de tierra u otros materiales sueltos cuando las condiciones no permiten que estas masas tomen sus pendientes naturales, evitando vuelcos y deslizamientos.

La destrucción de taludes en drenajes, el incremento de las pendientes la profundización de los cauces, el daño a cultivos y viviendas hacen necesario la implementación de medidas y obras estructurales con la función de evitar y estabilizar los efectos antes mencionados

Las estructuras en gaviones tienen características altamente recomendables debido a su funcionalidad de construcción e implementación, su comportamiento flexible y economía.

Por su composición este tipo de muros no presentan una defensa impermeable para las aguas de percolación e infiltración con lo que las líneas de flujo no son perturbadas y el impacto para el medio ambiente sea mínimo haciendo posible que el ecosistema se recupera de una manera casi integral.

Para el control de la erosión se usan materiales geosintéticos y en para el caso de la protección superficial el uso de geomantas.

Estas geomantas son aplicadas en todo el mundo con la finalidad de controlar la erosión, la protección ambiental y en obras de remediación debido a que su estructura proporciona una barrera que reduce la velocidad del viento y los escurrimientos superficiales del agua evitando la erosión

Para diseñar el revestimiento de una pendiente hay que definir y tomar en cuenta los siguientes aspectos: la pendiente y forma del talud, grosor de las capas de revestimiento, los materiales de las capas, protección en el pie de la pendiente y si es necesario obras de estabilización adicionales

El uso de terrazas es recomendable para el control de la erosión y que se establezca la vegetación.

Estas actividades tienen el propósito de evitar las superficies que se encuentran expuestas a desprendimientos producidos por la erosión del suelo.

El planteamiento, diseño e implementación de las obras de control de erosión, requiere de un trabajo conjunto donde deben intervenir geólogos y ambientalistas, forestales y expertos en vegetación nativa y los ingenieros civiles, hidrólogos, hidráulicos, y geotécnicos.

La erosión es una de las principales fuentes de contaminación del agua, y la construcción de obras de ingeniería es una de las principales fuentes de erosión.

La fragilidad del territorio ante los impactos depende de sus particulares, derivada de los elementos que coinciden en la zona de afectación como son: clima, topografía, presencia de agua, tipo de suelo, vegetación, entre otros.



## 7. CAPÍTULO 7 BIBLIOGRAFÍA

Bianchini. (2012). *Gaviones, sistemas de corrección fluvial, muros de contención, urbanismo*. Madrid. Bianchini Ingeniero.

Bustos Lozano, Hortencia. (2008). *Manual de Educación Ambiental*. Quito: Corporación editora.

Conesa Fernández, Vicente. (2009). *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. Madrid: Mundi-Prensa.

Corral, Astrid. (2011). Terrazas de irrigación. Recuperado el 12 de marzo del sitio web:  
<http://unidadacorralvacheronastrid.blogspot.com/2011/11/bancales.html>

Derpsch, R., Roth, C.H., Sidiras, N. & Köpke, U. (1991). *Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).

Duarte, C. Xavier. (2006). *Impacto de la actividad humana sobre el sistema tierra*. España: CSIC.

Espinoza, Guillermo. (2002). *Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental*. Santiago Banco Interamericano de Desarrollo – BID centro de estudios para el desarrollo.: Banco Interamericano de Desarrollo – BID centro de estudios para el desarrollo.

Follett, R.F., Stewart, B.A. (1985). *Soil Erosion and crop productivity*. Madison, Wis.: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America.

Goldman, S.J. Jackson K. y Bursztynsky T.A.. (1986). *Erosion and sediment control handbook*. New York: Mc Graw-Hill.

Hudson, Norman. (1982). *Conservación del Suelo*. Barcelona: Editorial Reverté.

IdealAlambrec. (2013). *Gaviones*. Quito: IdealAlambrec Bekaert.

Instituto Geográfico Militar. Mapas de río Cutuchi. Base Escala 1:50000.

Jdanne. (2010). *Dreamstime*. Recuperado el 29 de enero del sitio web:  
<http://es.dreamstime.com/fotograf%C3%ADa-de-archivo-libre-de-regal%C3%ADas-terrones-de-la-tierra-image16014917>.

Kirby, R., Morgan, C. (1980). *Erosión de Suelos*. New York: John Wiley & Sons.

La Quadra. (2013). *GMC Muro Talud*. Recuperado el 12 de febrero del sitio web:  
<http://www.murotalud.com/obras/muro-de-gaviones-en-toledo.html>

López Bermuda. (2011). *Los paisajes geomorfológicos*. Recuperado el 15 de enero del sitio web:  
<http://www.atlasdemurcia.com/index.php/secciones/6/los-paisajes-geomorfologicos/4/>.

Maccaferri (1995). *Sistema Terramesh, Una solución para el refuerzo de los terrenos*. Sao Paulo: Maccaferri Gabioes do Brasil.

Maccaferri. (1981). *Revestimiento de pendientes con redes de alta resistencia*. Sao Paulo: Maccaferri Gabioes do Brasil.

Maccaferri. (2002). *Protecciones contra erosiones superficiales, Necesidades y Soluciones*. Sao Paulo: Maccaferri Gabioes do Brasil.

McCullagh J. (2001). *Biotechnical Soil Stabilization for Slopes and Streambanks*. Las Vegas: IECA Professional Development Course. Training Manual. 177p.

MetEd. (2013). *Recursos de enseñanza y formación para la comunidad geocientífica*. Recuperado el 19 de febrero del sitio web: [https://www.meted.ucar.edu/sign\\_in\\_es.php?go\\_back\\_to=http%253A%252F%252Fwww.meted.ucar.edu%252Fhydro%252Fbasic\\_int%252Frunoff\\_es%252Fnavmenu.php%253Ftab%253D1%2526page%253D2.1.0##](https://www.meted.ucar.edu/sign_in_es.php?go_back_to=http%253A%252F%252Fwww.meted.ucar.edu%252Fhydro%252Fbasic_int%252Frunoff_es%252Fnavmenu.php%253Ftab%253D1%2526page%253D2.1.0##)

Michael Martin. (2009). *Geo international*. Recuperado el 26 de enero del sitio web: <http://www.mundo-geo.es/naturaleza/paisajes/seleccion-de-las-mejores-fotografias-de-desiertos-de-michael-martin?image=10>.

Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2003). *EL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULAS)*. Decreto Ejecutivo 3516.

Nilson, Arthur. (1999). *Diseño de Estructuras de concreto*. Colombia: Mc Graw Hill.

Prefectura de Cotopaxi. (2013). *Gobierno autónomo descentralizado provincial de Cotopaxi*. Recuperado el 5 de enero del sitio web: <http://www.cotopaxi.gob.ec/cotopaxi.html>

Programa Nacional de Transferencia de Tecnología – PRONATTA. (1999). *Guía de conservación de suelos y manejo de aguas de escorrentía*. Bogotá: Nuevas Ediciones.

Rodencal J. (1998). *Erosion Control Systems for Mechanically Stabilized Earth (MSE) Slope Structures*. Ieca Soil Stabilization. Methods and Techniques for Stabilizing Steep Slopes.

Rodríguez, Miguel. (2009). *Panoramio*. Recuperado el 7 de febrero del sitio web:  
<http://www.panoramio.com/photo/28914241>

Schwab G.O., R, K. Frevert, T.W. Edminster and K. K. Barnes. (1981). *Ingeniería de conservación de suelos y aguas*. (3ra ed.) New York: John Wiley & Sons.

Suárez Díaz, Jaime. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

Tayupanta, Jorge. (1993). *La erosión hídrica: procesos factores y formas*. Quito: INIAP.

Terrence J. Toy, George R. Foster, Kenneth G. Renard. (2002). *Soil Erosion: Processes, Prediction, Measurement, and Control*. John Wiley & Sons.

Williams D. (2001). *Hydrology & hydraulics for Erosion control Professionals*. International erosion control association.







## **ANEXO 2. El Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULAS)**

### LIBRO I

### DE LA AUTORIDAD AMBIENTAL

### TITULO I

#### De la Misión, Visión y Objetivos del Ministerio del Ambiente

Art. 1.- MISION DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: Dirigir la gestión ambiental, a través de políticas, normas e instrumentos de fomento y control, para lograr el uso sustentable y la conservación del capital natural del Ecuador, asegurar el derecho de sus habitantes a vivir en un ambiente sano y apoyar la competitividad del país.

Art. 2.- VISION DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: Ser la autoridad ambiental nacional sólida, líder del Sistema Descentralizado de Gestión Ambiental, con un equipo humano comprometido con la excelencia, que guíe con transparencia y efectividad al Ecuador hacia el desarrollo sustentable.

Art. 3.- OBJETIVOS DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE:

- a. Formular, promover y coordinar políticas de Estado, dirigidas hacia el desarrollo sustentable y la competitividad del país;
- b. Proteger el derecho de la población a vivir en un ambiente sano; y,
- c. Asegurar la conservación y uso sustentable del capital natural del país.



Art. 4.- En todas las normas en las que se hace referencia al Instituto Ecuatoriano Forestal y de Áreas Naturales y Vida Silvestre, se entenderá que se habla del Ministerio del Ambiente, el mismo que ejerce las funciones y atribuciones que la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre asigna al Ministerio de Agricultura y Ganadería.

A excepción del Parque Nacional Galápagos, que se rige por normas especiales, el Ministerio de Medio Ambiente establecerá los mecanismos necesarios para la administración y manejo de las áreas protegidas, pudiendo contar para ello con el apoyo del sector privado a través de cualquier mecanismo permitido por el sistema jurídico ecuatoriano.

### LIBRO III

#### DEL REGIMEN FORESTAL

#### CAPÍTULO I

##### Guía Interna para la Declaratoria de Bosques y Vegetación Protectores

Art. 23.- Para la declaratoria de oficio o a petición de parte interesada, de bosques y vegetación protectores, deberá conformarse un expediente con la siguiente información:

1. Justificación técnica para la declaratoria, con firma de responsabilidad del profesional especializado.
2. Datos del área a ser declarada - línea base.

## 2.1 Datos generales del área a ser declarada;

- a) Superficie (ha.);
- b) Ubicación; accesibilidad, localización política - provincia, cantón, parroquia, localización geográfica -latitud/longitud y coordenadas UTM;
- c) Tenencia;
- d) Población estimada dentro del área;
- e) Nombre de los colindantes; y,
- f) Servicios de infraestructura física y social.

## 2.2 Características ambientales:

- a) Altitud - m.s.n.m. (máxima, mínima);
- b) Precipitación - mm. (media anual, período seco, período lluvioso); y,
- c) Temperatura - 0C (media anual, mínima, máxima).

## 2.3 Aspectos físicos;

- a) Sistema hidrográfico: nombre de la cuenca, nombre de la subcuenca, ríos principales;
- b) Relieve; y,
- c) Erosión (presencia y nivel de erosión).

## 2.4 Uso del suelo;

### a) Uso actual del suelo y tipo de cobertura:

- Zona de vida y formaciones vegetales existentes.
- Forestal (bosque nativo - primario, secundario, regeneración natural, plantaciones forestales).
- Agropecuario (agricultura, ganadería, sistemas agroforestales).
- Infraestructura.
- Otros.

### b) Principales actividades productivas de la población que vive dentro del bosque protector:

- Forestal (aprovechamiento bosque nativo - primario, secundario, regeneración natural, aprovechamiento, plantaciones forestales).
- Producción Agropecuaria (agricultura, ganadería, sistemas agroforestales).
- Otros.

## DE LAS ÁREAS NATURALES Y DE LA FLORA Y FAUNA SILVESTRES

### CAPÍTULO I

#### De las Áreas Naturales

Art. 168.- El establecimiento del sistema de áreas naturales del Estado y el manejo de la flora y fauna silvestres, se rige por los siguientes objetivos básicos:

- a) Propender a la conservación de los recursos naturales renovables acorde con los intereses sociales, económicos y culturales del país;
- b) Preservar los recursos sobresalientes de flora y fauna silvestres, paisajes, reliquias históricas y arqueológicas, fundamentados en principios ecológicos;
- c) Perpetuar en estado natural muestras representativas de comunidades bióticas, regiones fisiográficas, unidades biogeográficas, sistemas acuáticos, recursos genéticos y especies silvestres en peligro de extinción;
- d) Proporcionar oportunidades de integración del hombre con la naturaleza; y,
- e) Asegurar la conservación y fomento de la vida silvestre para su utilización racional en beneficio de la población.

Art. 169.- La declaratoria de áreas naturales se realizará por Acuerdo Ministerial, previo informe técnico del Ministerio del Ambiente o la dependencia correspondiente de éste, sustentado en el correspondiente estudio de alternativas de manejo y su financiamiento.

Art. 170.- Las actividades permitidas en el Sistema de Áreas Naturales del Estado, son las siguientes: preservación, protección, investigación, recuperación y restauración, educación y cultura, recreación y turismo controlado, pesca y caza deportiva controlada, aprovechamiento racional de la fauna y flora silvestres.

Estas actividades serán autorizadas por la Ministerio del Ambiente o la dependencia correspondiente de éste, en base a la categoría de manejo de las áreas naturales.

Art. 171.- El Patrimonio de Áreas Naturales del Estado será administrado por el Ministerio del Ambiente o la dependencia correspondiente de éste, en sujeción a los Planes de Manejo aprobados por éste, para cada una de ellas.

Estos planes orientarán su manejo y regirán los programas y proyectos a desarrollarse y sólo podrán revisarse cuando razones de orden técnico lo justifiquen.

## LIBRO VI

### DE LA CALIDAD AMBIENTAL

#### TÍTULO I

##### Del Sistema Único de Manejo Ambiental

Art. 1.- Propósito y ámbito.- Reglamentase el Sistema Único de Manejo Ambiental señalado en los artículos 19 hasta 24 de la Ley de Gestión Ambiental, en lo referente a: marco institucional, mecanismos de coordinación interinstitucional y los elementos del sub-sistema de evaluación de impacto ambiental, el proceso de evaluación de impacto ambiental, así como los procedimientos de impugnación, suspensión revocatoria y registro de licencias ambientales.

El presente Título establece y define el conjunto de elementos mínimos que constituyen un sub-sistema de evaluación de impactos ambientales a ser aplicados en las instituciones integrantes del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental.

Un sub-sistema de evaluación de impactos ambientales abarca el proceso de presentación, revisión, licenciamiento y seguimiento ambiental de una actividad o un proyecto propuesto.

Art. 2.- Principios.- Los principios del Sistema Único de Manejo Ambiental son el mejoramiento, la transparencia, la agilidad, la eficacia y la eficiencia así como la coordinación interinstitucional de las decisiones relativas a actividades o proyectos propuestos con potencial impacto y/o riesgo ambiental, para impulsar el desarrollo sustentable del país mediante la inclusión explícita de consideraciones ambientales y de la participación ciudadana, desde las fases más tempranas del ciclo de vida de toda actividad o proyecto propuesto y dentro del marco establecido mediante este Título.

Art. 3.- Terminología principal.- Los términos utilizados en este Título son los que se definen en este artículo y en el glosario constante en la Disposición Final Segunda de este Título, así como en el glosario de la Ley de Gestión Ambiental.

Actividad o proyecto propuesto: Toda obra, instalación, construcción, inversión o cualquier otra intervención que pueda suponer ocasione impacto ambiental durante su ejecución o puesta en vigencia, o durante su operación o aplicación, mantenimiento o modificación, y abandono o retiro y que por lo tanto requiere la correspondiente licencia ambiental conforme el artículo 20 de la Ley de Gestión Ambiental y las disposiciones del presente reglamento.

NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES:  
RECURSO AGUA

LIBRO VI

ANEXO 1

INTRODUCCIÓN

La presente norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

La presente norma técnica determina o establece:

- a) Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado;
- b) Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos; y,
- c) Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.

## 1 OBJETO

La norma tiene como objetivo la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en lo relativo al recurso agua.

El objetivo principal de la presente norma es proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general.

Las acciones tendientes a preservar, conservar o recuperar la calidad del recurso agua deberán realizarse en los términos de la presente Norma.

### 3.1 Criterios de calidad por usos

1. Criterios de calidad para aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico, previo a su potabilización.
2. Criterios de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios.
3. Criterios de calidad para aguas subterráneas.
4. Criterios de calidad para aguas de uso agrícola o de riego.

5. Criterios de calidad para aguas de uso pecuario.
6. Criterios de calidad para aguas con fines recreativos.
7. Criterios de calidad para aguas de uso estético.
8. Criterios de calidad para aguas utilizadas para transporte.
9. Criterios de calidad para aguas de uso industrial.

### 3.2 Criterios generales de descarga de efluentes

1. Normas generales para descarga de efluentes, tanto al sistema de alcantarillado como a los cuerpos de agua.
2. Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado.
3. Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor.
  - a) Descarga a un cuerpo de agua dulce.
  - b) Descarga a un cuerpo de agua marina.



## NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS

### LIBRO VI ANEXO 2

#### INTRODUCCIÓN

La presente norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

La presente norma técnica determina o establece:

- a) Normas de aplicación general para suelos de distintos usos.
- b) Criterios de calidad de un suelo.
- c) Criterios de remediación para suelos contaminados.
- d) Normas técnicas para evaluación de la capacidad agrológica del suelo.

#### 1 OBJETIVO

La norma tiene como objetivo la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en lo relativo al recurso suelo.

El objetivo principal de la presente norma es preservar o conservar la calidad del recurso suelo para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general.

Las acciones tendientes a preservar, conservar o recuperar la calidad del recurso suelo deberán realizarse en los términos de la presente Norma Técnica Ambiental.

#### 4.1.1 Prevención de la contaminación del recurso suelo

La prevención de la contaminación al recurso suelo se fundamenta en las buenas prácticas de manejo e ingeniería aplicada a cada uno de los procesos productivos. Se evitará trasladar el problema de contaminación de los recursos agua y aire al recurso suelo.

##### 4.1.1.1 Sobre las actividades generadoras de desechos sólidos no peligrosos

Toda actividad productiva que genere desechos sólidos no peligrosos, deberá implementar una política de reciclaje o reuso de los desechos. Si el reciclaje o reuso no es viable, los desechos deberán ser dispuestos de manera ambientalmente aceptable.

##### 4.1.1.5 De la salinización de suelos

Las organizaciones públicas y privadas que utilicen o aprovechen aguas salinas o salobres deberán adoptar las medidas técnicas necesarias a fin de evitar la salinización y cualquier tipo de contaminación o degradación total o parcial de las características o cualidades físicas, químicas o biológicas de las tierras con actitud agrícola, ganadera forestal o de reserva natural.

Las organizaciones localizadas en zonas agrícolas, dedicadas a la producción acuícola, que utilizan aguas con contenido de sales mayores a la salinidad presente en el suelo, deberán adoptar los correctivos necesarios a fin de evitar la intrusión de esta agua en el suelo, con la posterior adsorción de sales en el suelo, o su migración a fuentes de agua subterránea, para el efecto deberán remitirse a la normativa existente referente a la actividad acuicultora en tierras altas.

Las actividades acuícolas localizados en tierras altas, dentro del Estudio de Impacto Ambiental, deberán incluir un Plan de Abandono del Sitio del proyecto a desarrollarse.

Si al concluirse una actividad acuícola efectuada en zonas agrícolas, el suelo donde se ha asentado el proyecto presenta concentraciones de sales elevada con relación a la concentración de salinidad presente al inicio del proyecto, el regulado deberá realizar la recuperación de la calidad agrológica del suelo.

#### 4.1.2 De las actividades que degradan la calidad del suelo

4.1.2.1 Las organizaciones públicas o privadas dedicadas a la comercialización, almacenamiento y/o producción de químicos, hidroelectricidad, exploración y explotación hidrocarburífera, minera, y agrícola, tomarán todas las medidas pertinentes a fin de que el uso de su materia prima, insumos y/o descargas provenientes de sus sistemas de producción y/o tratamiento, no causen daños físicos, químicos o biológicos a los suelos.

4.1.2.2 Las organizaciones dedicadas a la comercialización y producción de plaguicidas deberán efectuar campañas de difusión sobre el uso racional y técnico de estos compuestos, para esto, la empresa comercializadora y/o productora está en el deber de impartir charlas alusivas al uso de estos compuestos, sus riesgos y métodos adecuados de disposición final de los desechos.

4.1.2.3 Las sustancias químicas e hidrocarburos deberán almacenarse, manejarse y transportarse de manera técnicamente apropiada, tal como lo establece las regulaciones ambientales del sector hidrocarburífero y la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2266, referente al Transporte, Almacenamiento y Manejo de Productos Químicos Peligrosos, o la que la reemplace.

4.1.2.4 Los talleres mecánicos y lubricadoras, y cualquier actividad industrial, comercial o de servicio que dentro de sus operaciones manejen y utilicen hidrocarburos de petróleo o sus derivados, deberán realizar sus actividades en áreas pavimentadas e impermeabilizadas y por ningún motivo deberán verter los residuos aceitosos o disponer los recipientes, piezas o partes que hayan estado en contacto con estas sustancias sobre el suelo. Este tipo de residuos deberán ser eliminados mediante los métodos establecidos en las Normas Técnicas y Reglamentos aplicables y vigentes en el país. Los aceites minerales usados y los hidrocarburos de petróleo desechados serán considerados sustancias peligrosas. Los productores o comercializadores de aceites minerales o aceites lubricantes están obligados a recibir los aceites usados, los cuales obligatoriamente deberán devolverles sus clientes.

4.1.2.5 Los envases vacíos de plaguicidas, aceite mineral, hidrocarburos de petróleo y sustancias peligrosas en general, no deberán ser dispuestos sobre la superficie del suelo o con la basura común. Los productores y comercializadores de plaguicidas, aceite mineral, hidrocarburos de petróleo y sustancias peligrosas en general están obligados a minimizar la generación de envases vacíos, así como de sus residuos, y son responsables por el manejo técnico adecuado de éstos, de tal forma que no contaminen el ambiente. Los envases vacíos de plaguicidas, aceites usados y sustancias peligrosas serán considerados como residuos peligrosos y deberán ser eliminados mediante métodos establecidos en las Normas y Reglamentos expedidos para el efecto. Los productores o comercializadores están obligados a recibir los envases que obligatoriamente deberán devolver sus clientes.

4.1.2.6 Se prohíbe el vertido de las aguas residuales provenientes del tratamiento de triple lavado de envases o recipientes que hallan contenido pesticidas, sobre el suelo. Se permitirá la aplicación técnica del agua de triple lavado en cultivos que así lo requieran.

4.1.2.7 Los residuos plásticos provenientes de la operación de enfunde de las plantaciones bananeras, y aquellos procedentes de invernaderos, deberán efectuar la disposición final del desecho mediante métodos de eliminación establecidos en las normas y reglamentos expedidos para el efecto. Por ningún motivo se permite la mezcla de este residuo con la basura común o dispuesta directamente sobre el suelo.

4.1.2.8 Los productores agrícolas, están en la obligación de utilizar técnicas que no degraden la calidad del suelo agrícola, así como deberán implementar procedimientos técnicos respecto al uso racional de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas, este tipo de productos deberán ser manejados mediante buenas prácticas y métodos establecidos en las Normas Técnicas y Reglamentos aplicables y vigentes en el país.

4.1.3.6 Cuando un suelo se encuentre contaminado, el causante o la organización responsable por la contaminación, adoptará los siguientes procedimientos de informe:

1.- Caracterización del Área de Influencia Directa (\*)

Ubicación Geográfica del sitio

Ubicación de las zonas aledañas

Condiciones locales de la zona:

Precipitación y / o riego (frecuencia y nivel)

Nivel freático de la zona

Escorrentías

Ubicación de cuerpos de agua aledaños, pozos de extracción (en uso, clausurados, en proyecto)

Clima y temperatura del ambiente

Caracterización del suelo:

Uso del suelo: Agrícola, residencial, comercial o residencial

Topografía y Vegetación presente

Determinación físico, químico y biológica del suelo:

Granulometría

Permeabilidad del suelo

Composición química, física y biológica el suelo

Perfiles estratigráficos del área en estudio.

(\*) En derrames antiguos, la información permitirá determinar hacia donde se ha desplazado la mancha contaminante y es posible deducir el tiempo que tomará el alcanzar sitios poblados o fuentes subterráneas.

## 2.- Determinación del origen de la contaminación

Características de la actividad que da origen a la contaminación:

Exploración o explotación de recurso.

Procesos Industriales.

Centro de Almacenamiento o transporte de productos químicos o sustancias peligrosas.

Terminal Marítima o Terrestre.

Estación de Transferencia, Centro de Transferencia.

Ducto, poliducto.

Rellenos sanitarios, botaderos y sistemas de tratamiento de desechos.

Otras

## LIBRO VI

### DE LA CALIDAD AMBIENTAL

#### TÍTULO I

##### Del Sistema Único de Manejo Ambiental

Art. 1.- Propósito y ámbito.- Reglamentase el Sistema Único de Manejo Ambiental señalado en los artículos 19 hasta 24 de la Ley de Gestión Ambiental, en lo referente a: marco institucional, mecanismos de coordinación interinstitucional y los elementos del sub-sistema de evaluación de impacto ambiental, el proceso de evaluación de impacto ambiental, así como los procedimientos de impugnación, suspensión revocatoria y registro de licencias ambientales.

El presente Título establece y define el conjunto de elementos mínimos que constituyen un sub-sistema de evaluación de impactos ambientales a ser aplicados en las instituciones integrantes del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental.

Un sub-sistema de evaluación de impactos ambientales abarca el proceso de presentación, revisión, licenciamiento y seguimiento ambiental de una actividad o un proyecto propuesto.

Art. 2.- Principios.- Los principios del Sistema Único de Manejo Ambiental son el mejoramiento, la transparencia, la agilidad, la eficacia y la eficiencia así como la coordinación interinstitucional de las decisiones relativas a actividades o proyectos propuestos con potencial impacto y/o riesgo ambiental, para impulsar el desarrollo sustentable del país mediante la inclusión explícita de consideraciones ambientales y de la participación ciudadana, desde las fases más tempranas del ciclo de vida de toda actividad o proyecto propuesto y dentro del marco establecido mediante este Título.

Art. 3.- Terminología principal.- Los términos utilizados en este Título son los que se definen en este artículo y en el glosario constante en la Disposición Final Segunda de este Título, así como en el glosario de la Ley de Gestión Ambiental.