

## ESTUDIO DE AMENAZAS GEOLÓGICAS Y RECOMENDACIONES GEOTÉCNICAS



**PROYECTO:**

**ESTUDIO DE LAS AMENAZAS GEOLÓGICAS**  
**En las cuencas y áreas vecinas a la**  
**Infraestructura de acueducto,**  
**Municipio de Amagá (Antioquia).**

**INTERESADO:**

**Conhydra S.A E.S.P**

Punto Critico Amaga

**JUAN CARLOS OBANDO ALVAREZ**  
**INGENIERO CIVIL**  
**ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS**  
**M.P. N°: 0520262476ANT**

**Medellín, Julio 23 de 2014**

<b>INFORME RECOMENDACIONES GEOTECNICAS</b> <b>Infraestructura De Acueducto</b> <b>Municipio de Amaga</b>			
<b>Aprobación</b>	Elaboró	Nombre	Luisa Espinosa Mesa
		Firma	
		Fecha	Julio 23 de 2014
	Revisó	Nombre	Juan Carlos Obando Álvarez
		Firma	
		Fecha	Julio 23 de 2014
	Aprobación CONHYDRA S.A.	Nombre	CONHYDRA S.A.
		Firma	
		Fecha	Julio de 2014

## CONTENIDO

1.0. INTRODUCCIÓN.....	4
2.0. METODOLOGIA.....	5
3.0. ASPECTOS GENERALES.....	6
3.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	6
3.2. CLIMA.....	7
4.0. EVALUACIÓN GEOLOGÍA Y GEOMORFOLÓGICA .....	8
4.1. GEOLOGIA DEL MUNICIPIO .....	8
5.0. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS DE LA REGIÓN .....	15
6.0. TECTONISMO GENERAL .....	17
7.0. SISMICIDAD.....	19
8.0. ANÁLISIS DEL SECTOR EXPLORADO .....	24
9.0. ANÁLISIS DE LOS PROCESOS EROSIVOS ENCONTRADOS EN LA ZONA 28	
10.0. RECOMENDACIONES PARA MITIGACIÓN DE LOS PROCESOS DE EROSIÓN.....	33
11.0. CONCLUSIONES.....	44

## BIBLIOGRAFIA

## 1.0. INTRODUCCIÓN

En el **Municipio de Amaga (Ant)**, se estipula el estudio de las amenazas geológicas en las cuencas y áreas vecinas a la infraestructura de acueducto. Como componente metodológico para evaluar las amenazas naturales se encuentran la geología y la geomorfología que aportan el conocimiento del suelo y subsuelo, que determinan la susceptibilidad a los fenómenos naturales y revelan eventualmente su período de recurrencia.

El pasado **03 de Julio** de la presente anualidad, se procedió a la realización del reconocimiento del sitio catalogado como punto crítico acuerdo a las recomendaciones del **Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente “NSR-10”, Capítulo H.3 (Caracterización geotécnica del Suelos).**

El presente informe corresponde al estudio y recomendaciones desde el punto de vista geotécnico de los suelos encontrados en sitio.

Las recomendaciones para el diseño y construcción de las obras de mitigación se basan principalmente en las condiciones del sitio y las interpretaciones de la visita de campo.

Los análisis y recomendaciones contenidas en este informe **se aplican únicamente al proyecto relacionado anteriormente y a las condiciones geotécnicas allí encontradas.**

## 2.0. METODOLOGIA

Se siguió un esquema metodológico que parte del reconocimiento y evaluación del terreno, mediante el levantamiento de información in situ, donde se examinan las formaciones geológicas y el relieve.

Las diferentes etapas del estudio se resumen de la siguiente manera:

### ***Etapas 1: Recolección de Información Básica:***

Consiste en recopilar la información disponible concerniente con topografía, informe de geología aportado por la empresa contratante y clima. Posteriormente, se analiza el material recolectado y se procede a la interpretación de ellos, con la finalidad de conocer los patrones de relieve y los procesos erosivos y de movimientos en masa del área de interés.

### ***Etapas 2: Estudio de campo:***

Tiene como objetivo la observación de los tipos de suelos, acción de las corrientes y formas del terreno. Además, se determinan los perfiles estratigráficos de los depósitos.

### ***Etapas 3: Elaboración del informe final:***

En esta etapa se recopila toda la información, se presentan las recomendaciones para las obras de mitigación según la visita realizada, teniendo presente tanto las condiciones de sismicidad del área de proyecto y la definición de las aceleraciones máximas para el sismo de diseño, según la **NSR-10**.

### 3.0. ASPECTOS GENERALES

En este capítulo se expone el marco físico-biótico general donde se localiza la zona de estudio con el fin de establecer un marco ambiental donde se establecerá el proyecto.

#### 3.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

**Amagá** es un municipio de la República de Colombia, situado en la subregión Suroeste del departamento de Antioquia. Limita al norte con al municipio de Angelópolis, al sur con los municipios de Fredonia y Venecia, al oriente con el municipio de Caldas y al occidente con el municipio de Titiribí.

**La zona de estudio se localiza en:**

- ☑ **Latitud:  $6^{\circ} 3' 18.42'' N$**
- ☑ **Longitud:  $75^{\circ} 40' 25.32'' O$**







**Figura 1.** Localización Zona de estudio.

### 3.2. CLIMA

#### **Temperatura**

La temperatura promedio predominante en el área se calcula en 21.3°C, debido a la ausencia de estaciones climatológicas cercanas se considera igual para el lugar de disposición final.

#### **Precipitación**

La distribución de la precipitación a través del año está definida por dos periodos secos y dos húmedos. Los primeros corresponden a los meses de diciembre-febrero y junio-agosto y los segundos a los meses de marzo-mayo y septiembre-noviembre.

La precipitación promedio se calcula en 2161 mm/año según las estaciones climatológicas El Chuscal, La Salada, Esteban Jaramillo.

## 4.0. EVALUACIÓN GEOLOGÍA Y GEOMORFOLÓGICA

### 4.1. GEOLOGIA DEL MUNICIPIO

El municipio de Amagá se encuentra ubicado al suroccidente del Area Metropolitana del Valle de Aburrá, hacia la parte norte de la región del suroeste antioqueño.

Geográficamente el territorio con una extensión de 84 km<sup>2</sup> se localiza en el flanco occidental de La Cordillera Central Colombiana y conforma parte del denominado Valle Interandino del Cauca.

El municipio se encuentra bañado por las aguas que recogen las cuencas de las Quebradas

Sinifaná y Amagá, afluentes ambos del Río Cauca.

El municipio de Amagá corresponde a rocas sedimentarias de la formación Amagá, miembro del terciario Carbonífero medio, el cual esta conformado por arcillas pizarrosas claras y grises, localmente conglomeráticas y mantos de carbón de hasta dos metros de espesor.

Este miembro se distingue por la ausencia de conglomerados de mayor espesor de las capas de lodita y arcillositas carbonosas y por encontrarse en los estratos de arenisca, concreciones arenosas con matriz sideríticas. También en este manto medio se encuentran los mayores yacimientos de carbón económicamente explotables (1.2 a 2.0 m de espesor). Dicho miembro aflora al norte de Amagá.

La topografía totalmente montañosa del área refleja en sus formas las diferentes condiciones litológicas y estructurales presentes. Los cuerpos rocosos de naturaleza ígnea y metamórfica generan pendientes superiores del 50%, provocando hacia esta parte una erosión intensa del terreno. Las mayores alturas del área alcanzan rangos entre 2000 y 2200 m.s.n.m. (Altos de Nicanor, El Cedro, Piedra Pelona).

Las formaciones de rocas sedimentarias presentan una geomorfología suave, presentando localmente drenajes subparalelos donde las corrientes siguen la dirección de las diferentes capas o estratos marcando un control por estratificación. Las formaciones actuales (depósitos no consolidados recientes) suavizan localmente el paisaje del área resaltando el depósito sobre el cual se asienta el área urbana del municipio, y el de la vereda Minas.



***Geología Local:***

El municipio de Amagá está enmarcado en el flanco occidental de la Cordillera Central Colombiana, geológicamente caracterizada por estar conformada por un núcleo metamórfico afectado en varios periodos del tiempo por eventos magmáticos (ígneos) relacionados en un ambiente de convergencia de placas tectónicas.

El municipio se encuentra dentro de la denominada Cuenca Carbonífera del Sinifaná, la cual es catalogada como de carácter intramontañoso y controlada por un sistema de fallas regionales que marca el límite entre la cordillera Occidental y Central. Las rocas sedimentarias siguen el esquema descrito, las formaciones de rocas estratificadas se formaron de acuerdo a un modelo de cuencas influenciadas por factores tectónicos regionales.

***Litología:***

A continuación se describen en orden cronológico de más antiguo a reciente, las diferentes unidades de roca (litologías) que conforman el subsuelo del municipio.

***Complejo Polimetamórfico de la Cordillera Central (Pzm).***

Bajo esta denominación se incluyen todas las rocas metamórficas que constituyen la parte norte de la Cordillera Central Colombiana, con edades que oscilan entre el Precámbrico hasta el Cretáceo.

Estas rocas se presentan en Amagá en forma de franjas alargadas en dirección norte-sur localizadas hacia el noroeste y noreste de la cabecera municipal, específicamente en los sectores del Corregimiento El Cedro y la Vereda Piedecuesta. También están asociadas a algunos “ojos de sal” reportados en los sectores de la quebrada la Clara.

***Granito de Amagá***

Bajo este nombre se incluye un conjunto de cuerpos plutónicos, posiblemente de edad Triásica y de composición granítica, relacionados con las rocas adyacentes en la mayoría de los casos por medio de contactos tectónicos (fallas del Sistema Romeral).

Su composición petrográfica es esencialmente de granito, aunque se presentan variaciones locales de granodiorita y cuarzomonzonita, característicamente con filones aplíticos.

El estado avanzado de meteorización en que se encuentra esta unidad ha favorecido la explotación de arenas utilizadas principalmente en la industria de la construcción. En Amagá, el cuerpo principal constituye el extremo oriental de la jurisdicción, presentándose afloramientos de éste en los cortes de la carretera Troncal del Café, en las veredas Maní del Cardal y Pasonivel, caracterizado por la alta presencia de explotaciones de arenas para concretos, en los cortes del ferrocarril en la vereda Nicanor, y en los cortes de las carreteras hacia las veredas Maní del Cardal y Yarumal.

### ***Formación Quebradagrande (kvs)***

Secuencia de rocas volcanosedimentarias, constituida por sedimentos marinos y volcánicos concordantes, en forma de cinturón alargado y limitados por fallas del Sistema Romeral. Se divide en dos miembros principales: El Volcánico, conformado por lavas de composición basáltica, localmente andesíticas y piroclastos en los cuales se intercalan sedimentitas y lavas almohadilladas. Litológicamente esta compuesto por Espilitas, Diabasas, Basaltos, rocas Piroclásticas, Aglomerados y delgadas interacciones de Grauvacas, Limonitas y Chert. En general se encuentran bastante alterados.

### ***Complejo Ofiolítico del Cauca***

Conjunto de rocas básicas y ultrabásicas, que afloran en forma de franja alargada norte-sur y correlacionada con rocas de corteza oceánica cuyo origen y emplazamiento hacia el continente se postula de edad Cretácea.

El triturado intenso presente, la serpentinización local de las rocas ultramáficas y la existencia de depósitos de ladera alineados, dan cuenta de la actividad tectónica de este complejo.

De acuerdo con la nomenclatura cartográfica utilizada en la bibliografía existente, se ha dividido en diferentes unidades litológicas:

### ***Diorita de Pueblito (Kdp)***

Este cuerpo aflora hacia el extremo occidental de Amagá, donde se encuentra su mayor extensión; de composición predominantemente diorítica, aunque se presentan variaciones texturales y composicionales en forma de bandas centimétricas de granodiorita, pegmalitas hornbléndicas y masas irregulares de cuarzo.

Se encuentra delimitada por la Falla Amagá, encontrándose bastante diaclasado y triturado. Algunos depósitos de ladera alineados se encuentran asociados a este ambiente.

### ***Gabros de Romeral (Kg)***

Bajo esta denominación se agrupan aquellas franjas de gabro ubicadas dentro del sistema de Fallas de Romeral y que en parte bordean la Diorita de Pueblito. La roca típica tiene la apariencia semejane a anfibolita.

### ***Rocas Ultramáficas de Romeral (Ku)***

Cuerpos de composición ultrabásica (Peridotitos y Harzburgitas) localmente serpentinizadas que afloran en forma de franjas alargadas, asociadas a las rocas de la Diorita de Pueblito y los Gabros de Romeral.

En el municipio el cuerpo principal es de composición Harzburgítica, encontrándose localmente serpentinado, y aflora en menor proporción hacia el Corregimiento de el Cedro.

### ***Formación Amagá***

Unidad de rocas estratificadas de origen sedimentario que afloran en una franja de dirección norte – sur hacia la parte norte de la depresión del Cauca, entre los departamentos de Caldas y Antioquia. Constituye una secuencia continental de rocas dendríticas que reposan discordantemente sobre un complejo de rocas cristalinas (Basamento) que corresponden a las unidades litológicas mas antiguas.

Estratigráficamente se ha tenido la tendencia de subdividir esta formación en tres partes diferentes. Para el presente se recomienda adoptar la división de miembros Inferior, Medio y Superior por ser la de mayor arraigo en la zona.

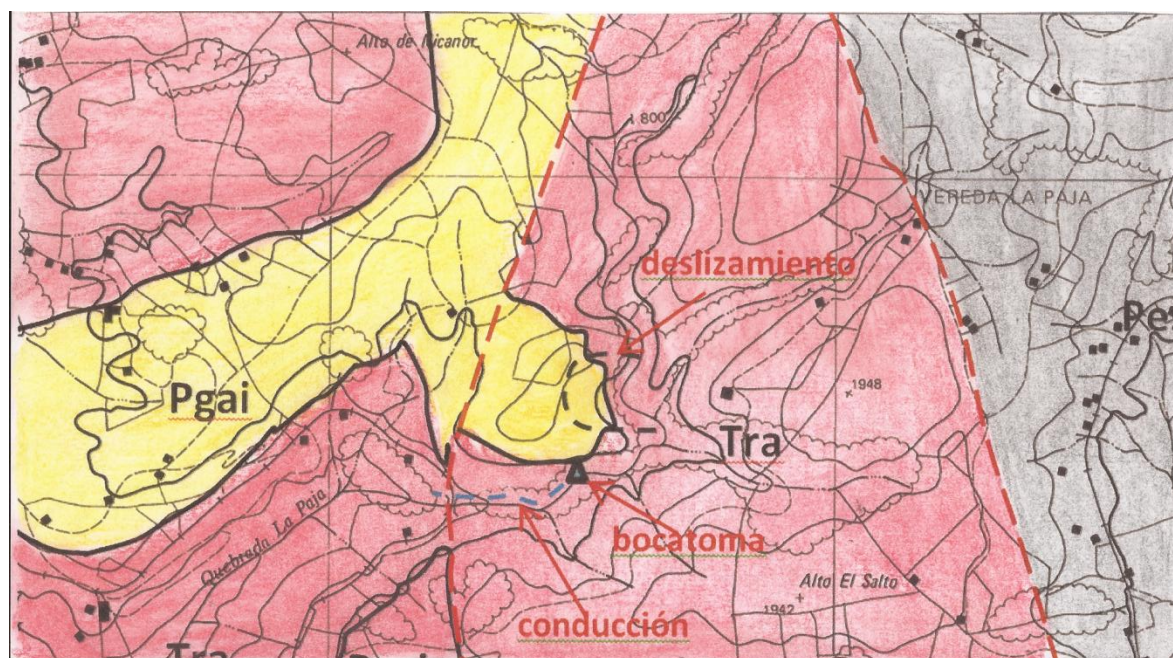
### ***Geología y Geomorfología del Sitio***

Según el informe del estudio realizado y entregador por la empresa contratante, se considera que en el sector medio de la cuenca de la quebrada La Paja, la cual alimenta la bocatoma del Acueducto municipal, se compone esencialmente de tres tipos de rocas:

**Esquistos cuarzo-sericíticos (Pes):** Se trata de una roca metamórfica, foliada, que se presenta en paquetes centimétricos compuestos por bandas milimétricas de cuarzo, sericita y grafito con cantidades menores de plagioclasa y biotita, el macizo

rocoso normalmente se observa en campo como una roca meteorizada y oxidada a lo largo de los planos de esquistosidad y forma un suelo areno – arcilloso blando de color amarillo ocre que alcanza unos 5 m de espesor. Estas rocas no afloran en este sector de la quebrada y se localizan unos 600 m al oriente de la bocatoma.

**Plutón de Amagá (Tra).** Es una roca ígnea de composición Monzonítica constituida por cristales de tamaño grueso, del orden de 5 mm, compuestos por ortoclasa, plagioclasa y cuarzo en más de 80% y biotita el 20% restante como mineral oscuro. La roca aflora en la quebrada La Paja desde un poco más abajo de su intersección de la antigua vía del ferrocarril y se extiende hasta al menos 200 m aguas arriba del cuerpo de masa inestable que ha afectado la quebrada. El perfil de meteorización de esta roca alcanza en la zona por lo menos 5 m de espesor, donde se forma un suelo granular grueso, con cantidades subordinadas de limos y arcillas producto de la meteorización in situ de la roca original. Es típico del área el uso de este suelo para fabricar bloques de cemento para construcción de viviendas.



**Figura 2.** Geología de la zona vecina a la bocatoma del acueducto de Amagá (Modificado de INGEOMINAS, 1983).

**Formación Amagá.** Un conjunto de rocas sedimentarias pertenecientes a la Formación Amagá (INGEOMINAS, 1983), se destaca en la parte alta de la vertiente oriental de la bocatoma. Consiste de areniscas medias a gruesas de color pardo

claro a gris que se alternan con estratos delgados de conglomerados de grano medio a fino, donde el tamaño máximo para los clastos es de unos 6 a 7 cm., predominando tamaños entre 3 y 4 cm. La matriz para ambos componentes es arcillosa y fina, lo que le aporta compacidad al conjunto rocoso. Estas rocas descansan estratigráficamente sobre las que componen el Plutón de Amagá y se consideran como la base de dicha formación.

### **Geología Estructural.**

Las líneas punteadas del mapa geológico, representan contactos fallados más que verdaderas fallas geológicas y no se encontró durante la visita de campo ninguna evidencia de fallamiento o tectónica reciente, lo que estructuralmente implica que no se presentan fallas geológicas en el sitio. Lo anterior se corrobora con los mapas geológicos existentes (Grosse, 1926, INGEOMINAS, 1983), donde las estructuras cercanas son contactos fallados, todos ellos entre rocas de edades muy antiguas, si se tiene en cuenta que las más recientes son las de la Formación Amagá, que tienen edad mayor a 30 millones de años.

El análisis de la geología estructural de una zona en particular se hace necesario porque está relacionado con las fallas geológicas y su asociación con sismos, es decir, que estas tengan relación con sismos históricos de relativa importancia, o que el trituramiento de los macizos rocosos que atraviesan se convierta en un factor de inestabilidad notable. Para este análisis se utilizan los mapas geológicos regionales, generalmente publicados por INGEOMINAS a escala 1:100.000, el Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia 2009 (AIS, 2009) y los rasgos superficiales de la morfodinámica reciente en la zona, que básicamente consiste en la interpretación de las causas de los movimientos en masa locales.

Una conclusión al respecto se relaciona con la observación cuidadosa de las vertientes cercanas, las cuales carecen de enjambres de cicatrices de deslizamientos cosísmicos, los cuales afectan regionalmente las vertientes cuando se presentan sismos relativamente superficiales de magnitudes mayores a  $M=5$ .





**Figura 3.** Vertientes aledañas a bocatoma del acueducto de Amagá, se aprecian cicatrices de movimientos en masa (1,2,...), aislados y erráticos, producto de lluvias y conflictos de uso del suelo

## Geomorfología

El área vecina de la bocatoma se puede considerar como una sola unidad geomorfológica, constituida por vertientes montañosas, donde no existen depósitos relacionados con planicies aluviales asociadas con la quebrada. Dicha unidad se podría llamar Vertientes Montañosas bajas e irregulares, de las cuales no se presenta mapa debido a que no se justifica por ser una sola unidad la que define el área de trabajo.

Las montañas son bajas, con cerca de 600 m de altura entre filos mayores y cauces de tercer orden, con filos de topes amplios (más de 50 m), redondeados e irregulares en perfil, ya que muestran un escalonamiento por cambios en el tipo de roca.

Las vertientes que se desprenden de los filos principales son irregulares, marcadas también por diferencia de composición de las rocas subyacentes, pero en general son rectas cuando no hay cambios de roca; sus pendientes son moderadas, rara vez exceden el 40%, con excepción de sus remates en los cauces. Los cauces tienen



fondos estrechos, con laderas en forma de V cerrada hasta casi verticales y entallados directamente en la roca.

## 5.0. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS DE LA REGIÓN

Los cuerpos rocosos de naturaleza ígnea y metamórfica generan pendientes superiores al 50, provocando erosiones del terreno. Las mayores alturas alcanzan rangos entre 2000 y 2200 m.s.n.m y comprende las veredas de Nicanor Restrepo, Piedecuesta y el Cedro. Básicamente posee tres tipos de suelos:

### *Suelos*

**Suelo III TRa:** Ligeramente planos (pendientes inferiores al 25%). Erosión ligera a moderada, profundidad efectiva superficial a muy profunda; pedregoso en algunas áreas, bueno a moderado, imperfecto a pobre; retención de agua desde baja a muy alta; permeabilidad lenta a rápida; nivel de fertilidad bajo a muy bajo; estos suelos requieren prácticas de manejo y conservación, tales como el control de la erosión y del agua, drenajes y fertilización.

**Suelo IV:** Con relieve similar a la clase IV; pendientes entre 25 y 50% y mas; afectados por erosión ligera, moderada y severa; profundidad efectiva de superficial a profunda; pedregosidad desde ninguna a excesiva; drenaje natural excesivo o moderado; retención de humedad alta a muy baja; permeabilidad muy lenta a muy rápida; nivel de fertilidad bajo a muy bajo. Tiene aptitud especial para pastoreo con buen manejo de potreros o cultivos perennes y bosques. Debido a sus limitaciones, se deben emplear medidas de conservación y manejo muy especial y cuidadoso para su utilización.

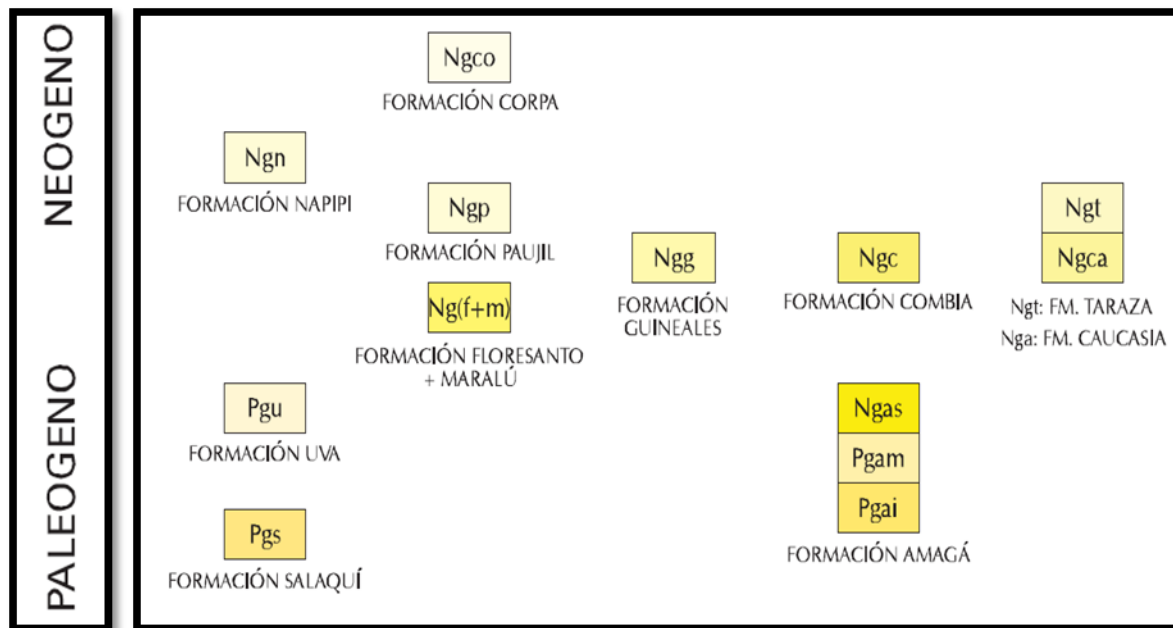
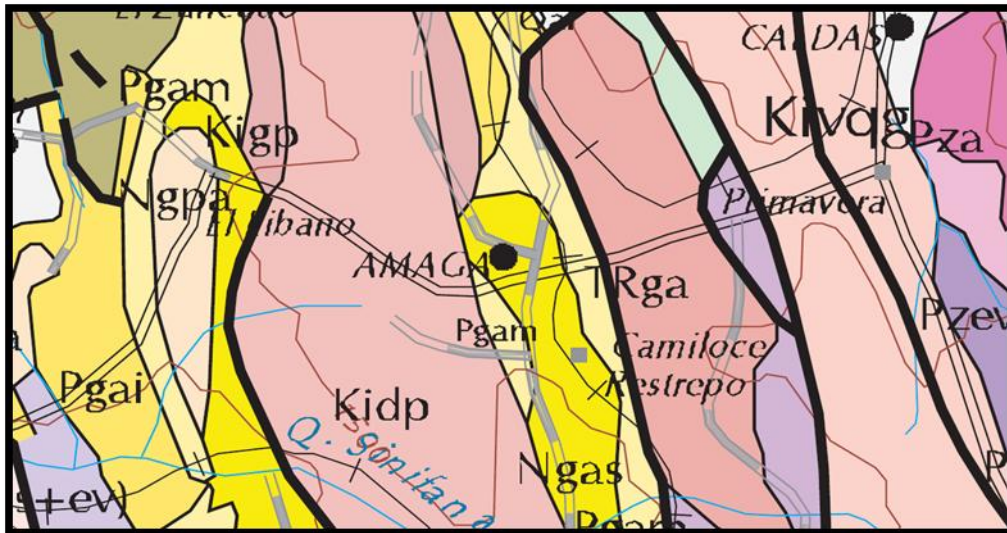


Figura 4. Geología Regional en el Municipio de Amaga.

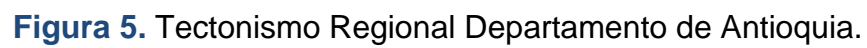
## 6.0. TECTONISMO GENERAL

La tectónica global donde se enmarca el proyecto, consiste de una diversidad de terrenos con características geológicas diferentes, las cuales conforman una especie de cuña, delimitadas por la interacción de tres (3) placas tectónicas (Nazca, Caribe y Suramérica), y para la cual, Cline y Otros (1981), acuñaron el nombre de “Bloque Nor-Andino”.

La placa Nazca tiene un sentido de desplazamiento general de occidente a oriente y una velocidad de 60 mm/año. Esta placa, al occidente de Colombia, dentro del océano Pacífico, en la denominada Fosa Colombo-Ecuatoriana, se está subduciendo bajo la placa Suramérica. Al norte está en contacto con la placa Caribe a lo largo de una falla transcurrente sinistral, que se prolonga al oeste a partir de la zona del Darién, a lo largo de la plataforma continental del Pacífico Panameño (Sarria, 1990).

La placa Suramérica se mueve en dirección general oriente-occidente, con una ligera componente noroccidental y a una velocidad de 10 a 20 mm/año. La placa Caribe tiene un desplazamiento relativamente menor en la dirección occidente-oriente. Entre las placas Caribe y Suramérica, los límites no están bien definidos, existiendo hipótesis que la ubican por la costa del Mar Caribe y otros a lo largo del flanco este de la cordillera Oriental de Colombia (Sarria, 1990).

La actividad compresiva generada por la interacción de las tres placas, ha desarrollado en el Bloque Nor-Andino, una serie de deformaciones a lo largo de fallas con dirección N-S, una de las cuales es la zona de fallas Cauca - Romeral, de gran importancia para el proyecto





## 7.0. SISMICIDAD

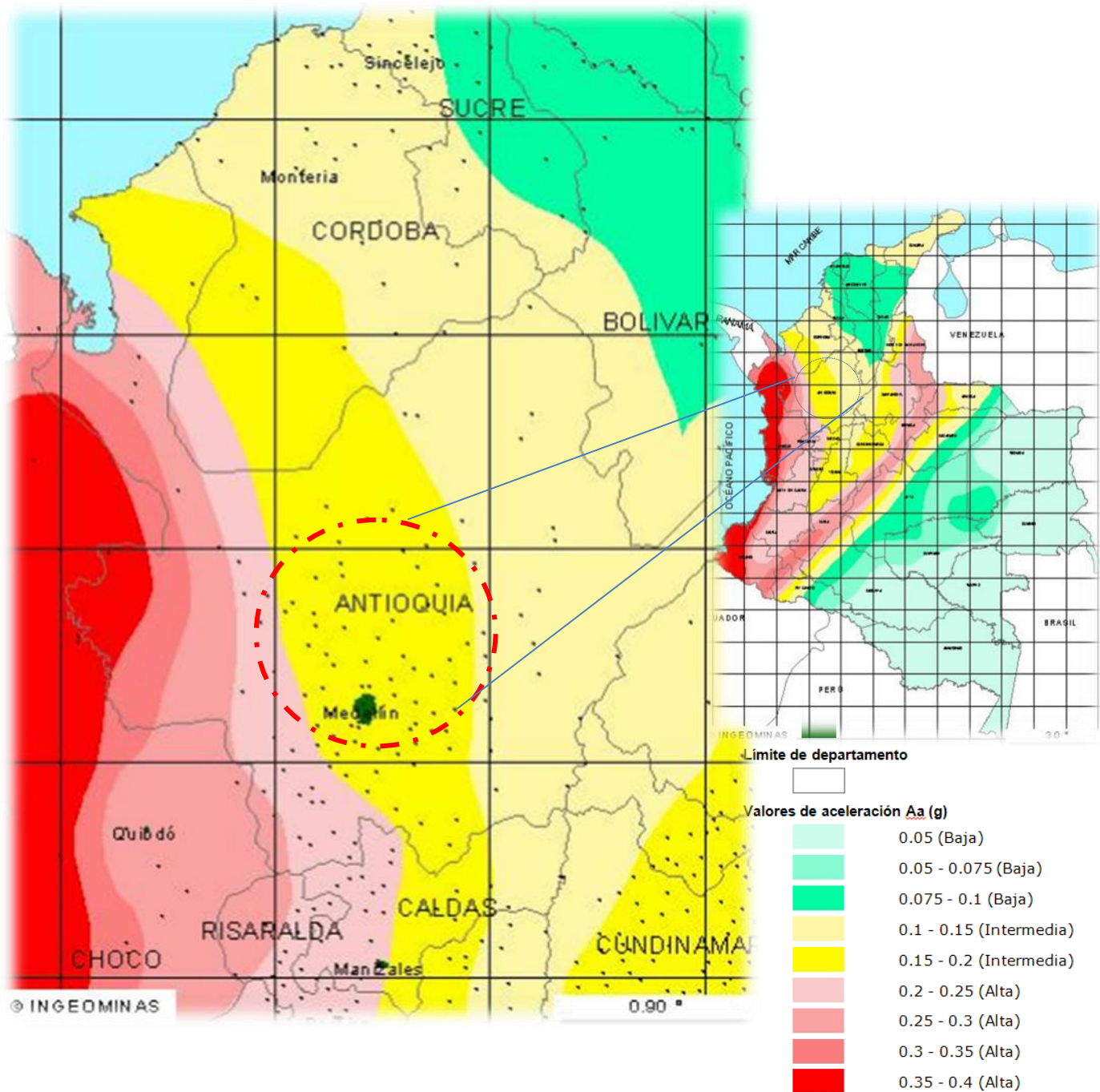


Figura 6. Sismicidad en la región

La recopilación de información sobre sismos sentidos en Medellín (a 126 Km de la zona del proyecto), realizado por Arango y Velásquez (1993), reportan 37 sismos ocurridos en el período que va de 1730 a 1979, de los cuales cuatro se registran con intensidades VII, siete con intensidades VI (incluyendo el sismo del 18 de octubre de 1992), y diez con intensidades V. En la Tabla 1 se presenta una descripción macro sísmica de los terremotos que más han afectado los municipios que se encuentran en los alrededores del Proyecto. Además, según la historia sísmica para Colombia, la cual se encuentra mejor documentada dentro del período del último siglo, considera como fuentes sismogénicas de posible afectación para el proyecto las siguientes:

***Norte del Valle - Risaralda- Chocó y Quindío:***

Se han registrado eventos intermedios, con magnitudes de 6 y 7, los cuales se habían localizado en Manizales.

***Atrato y Urabá:***

Incluye los eventos de la zona de Frontino, como los que sucedieron entre 1903 y 1904. Aún los eventos con magnitudes menores han reportado licuación de suelos y deslizamientos en laderas escarpadas cubiertas de bosque.

***Costa del Chocó:***

Los eventos documentados son recientes. Sismos de magnitud 6-7 han provocado licuación de suelos y deslizamientos en área epicentrales poco pobladas.

***Santander:***

Eventos con magnitudes mayores de 6 han producido intensidades de VI o mayores en el NE de Antioquia.



**Tabla 1.** Principales Sismos Sentidos en el Área Metropolitana y Valle de Aburra.

FECHA	DESCRIPCIÓN	INTENSIDAD (MM)	MAGNITUD	EPICENTRO
Marzo 8 /1883	Sentido en gran parte de Colombia. Daños en catedral de Medellín (Santafé de Antioquia??)	VIII+	> 7.0	Atrato medio (??)
Agosto 26/1904	Sismo fuerte y corto sentido en Medellín. Con réplicas			Valle del Aburrá (??)
1903 – 1904	Serie de sismos sentidos en Antioquia. Región epicentral al SW de Frontino	VIII+	> 6.0	SW de Frontino
Abril 4/1911	Daños en Iglesias de Yarumal y Campamento. Sentido en Remedios			NW de Ituango (?)
Febrero 14/ 1952	Daños en iglesias y casas de Medellín, Santafé de Antioquia y Giraldo	VIII	6.7 Ms	Atrato Medio
Diciembre 2/1957	Sentido fuerte en Medellín. Daños en Dabeiba (?)	VI	6.7	Atrato Medio
Julio 29/1967	Intensidades de VII en Yarumal y poblaciones vecinas	VII	6.3	Santander
Diciembre 2/1970	Intensidades de VI en Ituango y Campamento	VII	> 5.5	Urabá
Agosto 30/1973	Daños en poblaciones del NE de Antioquia	VI	5.7 Mb	Santander
Marzo 19/1987	Durante 15 días sismos cortos y fuertes al SW de Frontino. Daños en Murri, Nutibara y Frontino	VII+	5.6 Mb	Atrato Medio
Octubre 18/1992	Sentido en gran parte de Colombia. Daños en Medellín, Bogotá y Cali. Eventos previos y centenares de réplicas	VIII +	7.4 Ms	Atrato Medio
Enero 9/1993	Tres sismos fuertes y cortos causaron pánico en muchas personas de Medellín y poblaciones cercanas	IV - V	3.0	Valle de Aburrá (??)

Fuente: Arango y Velásquez (1993).

Las principales fuentes sismogénicas que afectan el proyecto se deben diferenciar entre fuentes intraplaca y fuentes interplaca. Además, debe tenerse presente que la liberación de energía elástica acumulada en las zonas interplaca e intraplaca se produce en ciertos sectores de la corteza, los cuales se denominan sismofuentes debido a que en ellos se ha producido una cantidad relevante de sismos de diversas magnitudes, registrado tanto en catálogos instrumentales como en documentos

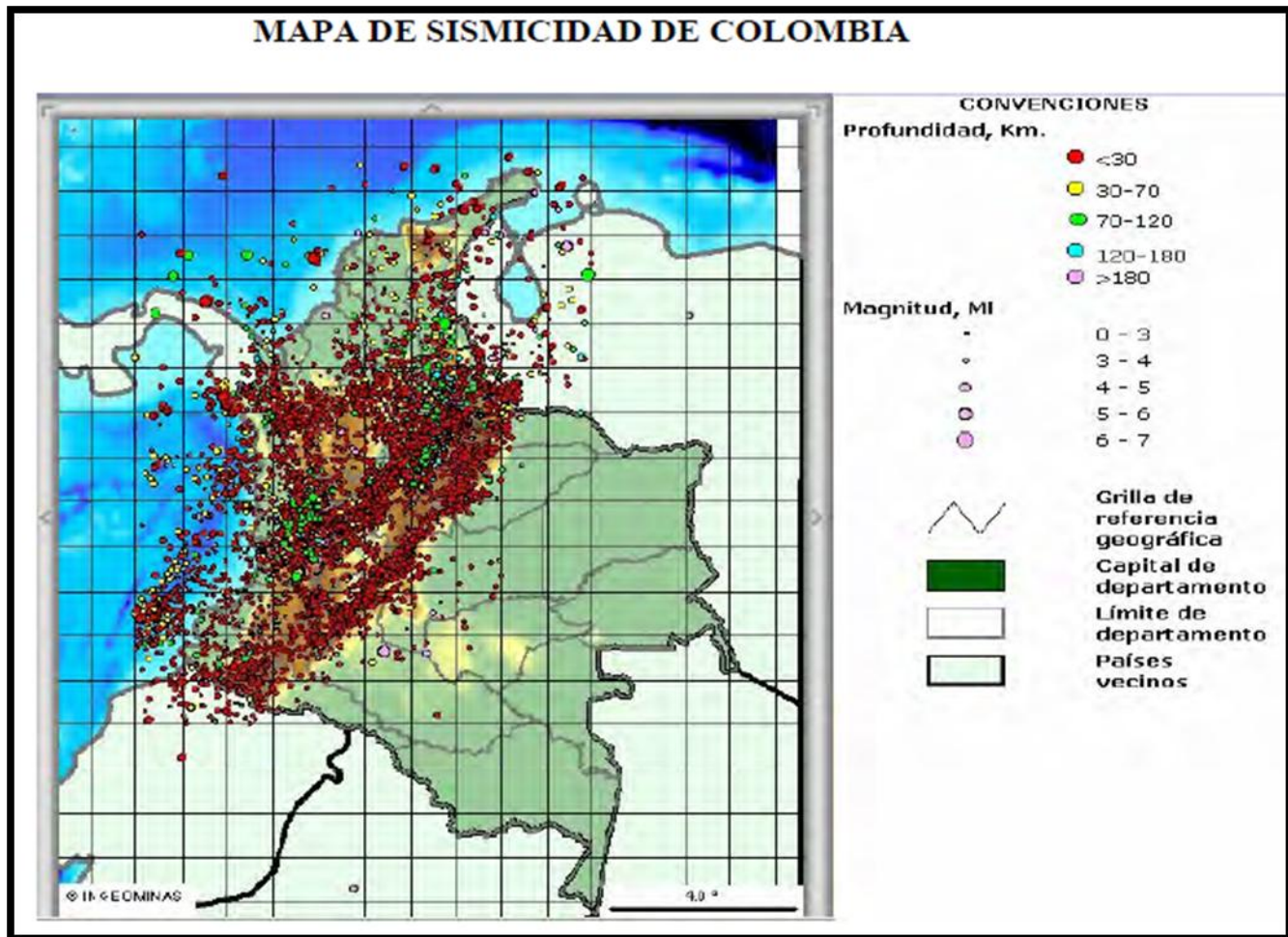
históricos. Las principales sismofuentes para el proyecto y localizadas en el territorio Colombiano incluyen:

- ❖ *La sismofuente del Viejo Caldas, a la cual se le asigna el evento del 23 de noviembre de 1979 (denominado sismo Mistrató);*
- ❖ *La zona de fallas Murindó-Murrí-Mutatá, el cual generó los sismos del 17 y 18 de octubre de 1992,*
- ❖ *Las zonas de falla Cauca -Romeral.*

**Tabla 2.** Principales Sismo Sentidos en el Municipio de Amaga.

					Parametros de Consulta			
				Fecha Inicial	01/06/1993			
				Fecha Final	16/07/2014			
				Departamento	ANTIOQUIA			
				Municipio	AMAGA			
				Total Registros	3			
					Red Sismologica Nacional de Colombia			
Fecha aaaa/mm/dd	Hora UTC hh:mm:ss	Magnitud MI	Longitud Grados	Latitud Grados	Departamento	Municipio	Profundidad Km	Estado
24/06/2000	20:00:48	3	-75.716	6.078	ANTIOQUIA	AMAGA	34.6	Revisado
24/04/2011	18:32:50	2.9	-75.739	6.055	ANTIOQUIA	AMAGA	92	Revisado
29/05/2012	06:42:06	1.2	-75.736	6.047	ANTIOQUIA	AMAGA	20.4	Revisado

Fuente: Red Sismológica Nacional de Colombia



**Figura 7.** Mapa de sismicidad Colombia

## PERFIL GEOLOGICO Y AMENAZA SISMICA

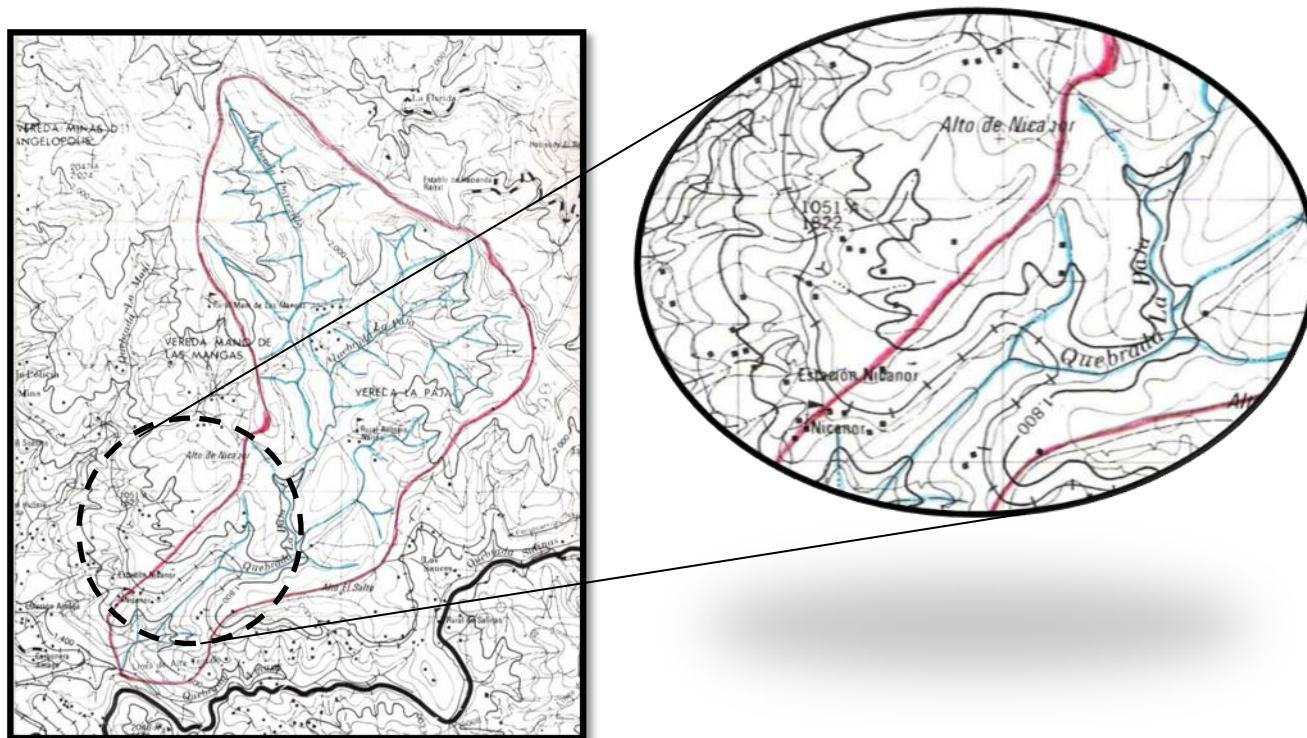
De acuerdo al **Título A.1.3.4** diseño estructural para estructuras nuevas en la obtención del nivel de amenaza sísmica y los valores de  **$A_a$**  y  **$A_v$** , se tiene:

- ☒  **$A_a$ : 0,20**      **Zona de amenaza sísmica Alta**
- ☒  **$A_v$ : 0,25**

## 8.0. ANÁLISIS DEL SECTOR EXPLORADO

El sector de análisis se encuentra ubicado en la **Vereda Nicanor Restrepo**, que parte desde la desembocadura de la quebrada Las Peñas a la quebrada La Paja, por esta aguas abajo (límites con Caldas) cruzando la línea férrea hasta la cota 1650, por esta cota en dirección sur-norte hasta encontrar el nacimiento de la quebrada El Guamal, por esta aguas abajo hasta encontrar la cota 1450, por esta cota en dirección sur-norte hasta encontrar la quebrada Maní o El Toronjo, por esta aguas arriba hasta encontrar la desembocadura de la quebrada Manicita o Manizala, por esta aguas arriba hasta su nacimiento, de este punto en línea recta imaginaria hasta intersectar la desembocadura de la quebrada Las Peñas a la quebrada La Paja, punto de partida.

La quebrada La Paja es la fuente que abastece el acueducto de la cabecera del municipio de Amaga. La bocatoma se encuentra en la parte baja de la cuenca en la cota 1760 en el paraje alto de Nicanor. El servicio de acueducto es prestado por la administración municipal a través de la secretaria de servicios públicos que fue creada en el año 1997 y cuenta con una cobertura del 95%.



**Figura 8.** Análisis del sector explorado



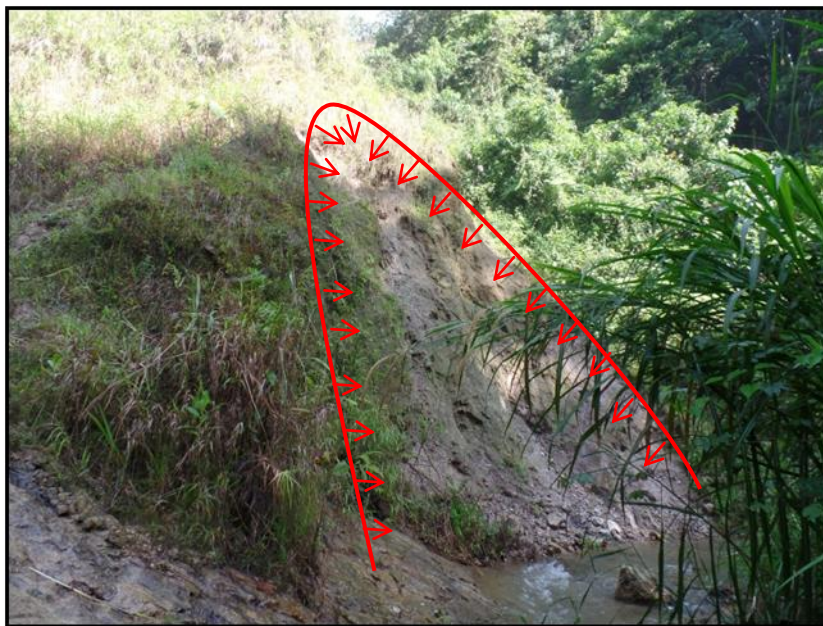
Para lograr el objetivo principal del estudio se visitó la zona de la bocatoma y sus alrededores en compañía de los ingenieros del equipo técnico de Conhydra y el fontanero del sistema, quien conoce desde hace más de diez años la problemática del acueducto y sus áreas vecinas; se obtuvo información adicional de vecinos del área, quienes aportaron testimonios acerca de daños y fenómenos de inestabilidad.

Se visualizan cicatrices de deslizamientos recientes, reptación, erosión superficial, erosión concentrada, escarpes erosivos y socavamiento lateral en la margen de la quebrada.

En la zona de estudio se presenta un alto grado de meteorización en gran parte debido a la facilidad del paso del agua por las discontinuidades en el material como las estratificaciones, contactos, zonas de falla y fracturas muy comunes debido a los eventos tectónicos que ha sufrido el Municipio.

Estas características sumadas a las altas pendientes hacen el terreno altamente vulnerable a la presencia de procesos erosivos como movimientos en masa, desgarres, reptaciones entre otros.

Se identificó un punto crítico, que por su grado de afectación y su cercanía a la margen lateral de la quebrada, es la zona a tratar; buscando así minimizar el impacto. En las siguientes imágenes se caracterizaran los diferentes casos encontrados en este punto:



**Foto 1.** Parte baja del deslizamiento que se deposita en el cauce de la quebrada La Paja.



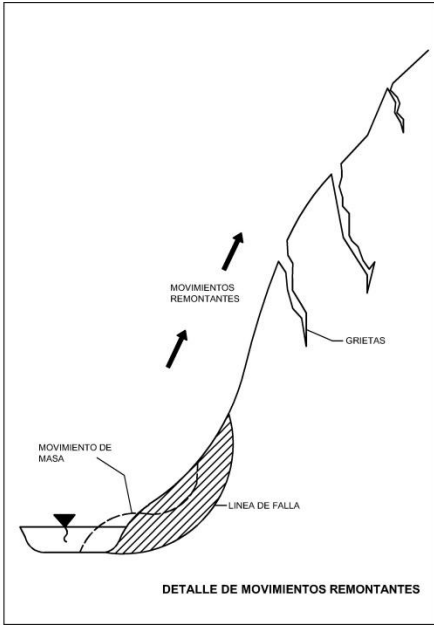
**Foto 2 y 3.** Parte Alta del deslizamiento se identifica la Corona del Deslizamiento





**Foto 4 y 5.** Reptaciones en la parte superior a la corona del deslizamiento.

## 9.0. ANÁLISIS DE LOS PROCESOS EROSIVOS ENCONTRADOS EN LA ZONA



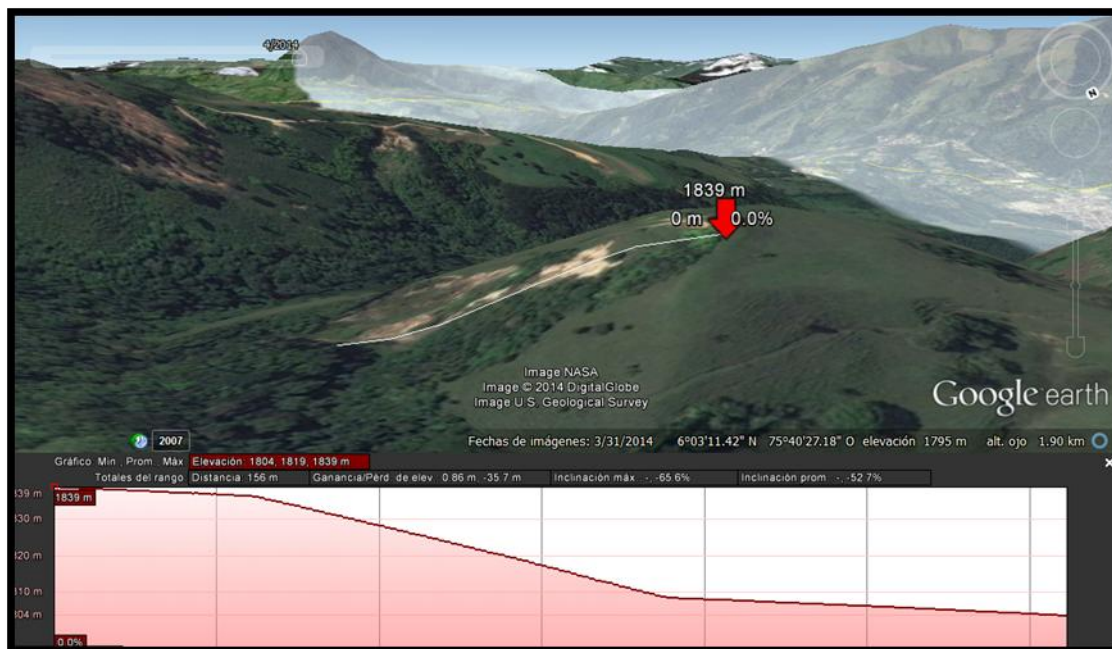
Los procesos geotécnicos activos de los taludes y laderas corresponden generalmente, a movimientos de masa y procesos remontantes por la caracterización de los materiales que conforman un talud de roca, suelo natural o relleno, o una combinación de ellos. Los movimientos ocurren generalmente, a lo largo de superficies de falla, por caída libre, movimientos de masa, erosión o flujos por filtración de aguas de escorrentía o alteración de nacimientos o corrientes de agua, debido a la ejecución de obras.

La principal causa de los problemas en los taludes es la presencia del agua lluvia por arrastre, infiltración, zonas de vertiente sin cobertura vegetal, escorrentía, agua subterránea, la deforestación y alguna falla geológica. La protección de la superficie del terreno generalmente se obtiene utilizando la vegetación como obra principal de estabilización y protección superficial y se debe tener especial cuidado en la selección del sistema de establecimiento de la cobertura vegetal y

de las especies nativas a establecer; Sin embargo, en ocasiones se requieren obras con materiales no orgánicos para complementar la protección con un proceso de revegetación.

En las fotos 1, 2 y 3 mostradas con anterioridad evidenciamos el deslizamiento que afecta la unidad de análisis:





**Figura 9.** Ubicación Punto Crítico.

Se tienen una perspectiva con la visita realizada que permite apreciar la magnitud del deslizamiento, pero con el fin de hacer un análisis más completo se utilizan las fotos aéreas del programa google earth de los años 2007, 2009, 2011 y 2014, en las que se observa que la situación no ha cambiado en los 7 años de lapso entre la primera y última toma. En cuanto a la estabilidad del mismo, no se observan variaciones en morfología ni se evidencia procesos morfodinámicos activos que atenten contra la estabilidad de la infraestructura construida en su entorno.

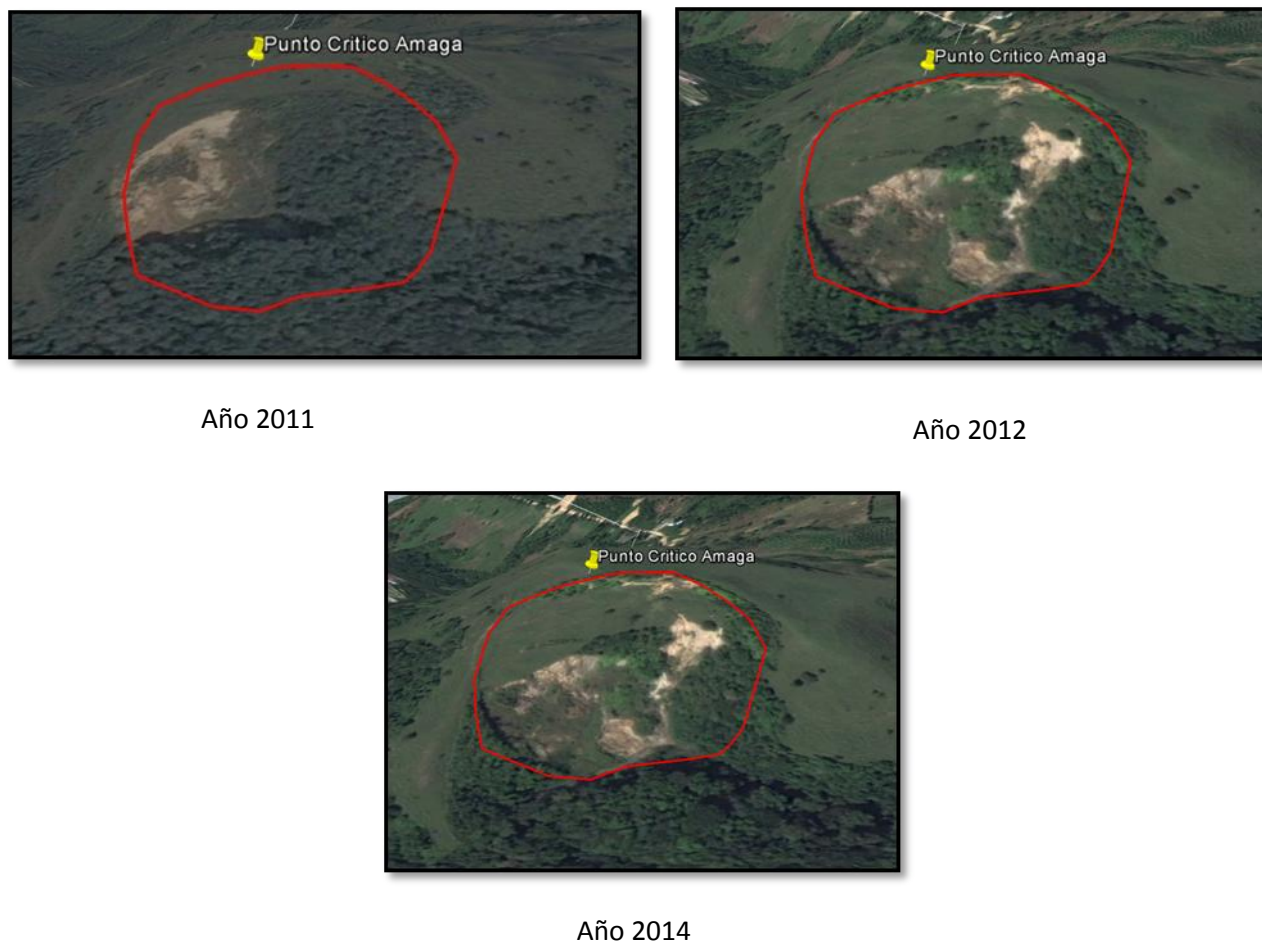


Año 2008



Año 2009





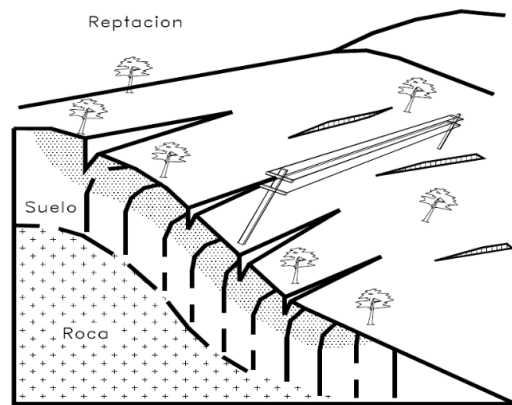
**Figura 10.** Magnitud del deslizamiento.

Como se puede observar en las imágenes se identifican invariantes en el tiempo, desde el 2007 hasta 2011 solo con algunas evidencias de deforestación. Al eliminarse la protección vegetal (cualquiera que sea ésta) se deja el terreno expuesto al impacto de las gotas de lluvia, las cuales producen erosión laminar, en el año 2012 nos muestra sobre este sector, movimientos en masa o inestabilidades de talud en la parte superior de la corona, variaciones en la morfología o cicatrices por movimiento diferencial de terrenos. Sin embargo en el lapso de tiempo del año 2012 al 2014 no se presentan variaciones, ni aumento del volumen y área del deslizamiento, corroborado con el registro fotográfico del reconocimiento hecho en la zona:



**Foto 6.** Se observa afloramiento de la roca, ésta puede ser alterada si no se hace una revegetación

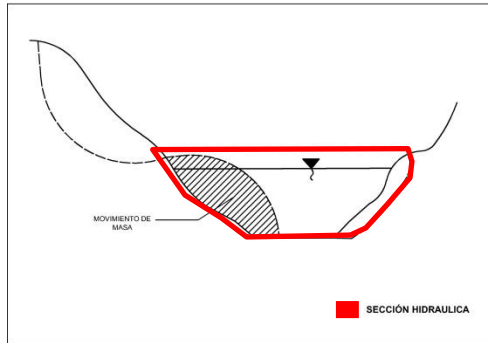
Además se evidencian también procesos de reptación (Foto 4 y 5), que consisten en movimientos muy lentos a extremadamente lentos del suelo subsuperficial sin una superficie de falla definida. Generalmente, el movimiento es de unos pocos centímetros al año y afecta a grandes áreas de terreno. Se le atribuye a las alteraciones climáticas relacionadas con los procesos de humedecimiento y secado en suelos, usualmente, muy blandos o alterados. La reptación puede preceder a movimientos más rápidos como los flujos o deslizamientos.



**11. Reptación<sup>1</sup>**

**Figura**

<sup>1</sup> SUÁREZ DÍAZ, Jaime. Deslizamientos y estabilización de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander, UIS. 1998.



En la base de la falla, o pie de la falla, el flujo de material depositado afecta el cauce y los lineamientos de la sección hidráulica de la quebrada la paja, minimizando la capacidad de flujo pues obstruye el paso, aumenta la velocidad y produce socavación en las paredes de los taludes, como observamos en la siguiente fotografía:



**Foto 7.** Socavación en las paredes de los taludes

Se observa sobre el perfil del deslizamiento irregularidades en la generación de negativos, dándose una pendiente irregular que por cambios de humedad producen variaciones en la presión de poros, las cuales por su propio peso y la gravedad continuara el deslizamiento.

Luego de identificar, analizar y describir, cada uno de los procesos evidenciados y los parámetros que desde nuestro concepto de la ciencia geotécnica a continuación se presentaran las respectivas recomendaciones que permitirán dar una solución a dicha zona crítica del municipio de amaga que afecta el cauce de la quebrada la paja, que a su vez es la que abastece el acueducto de este municipio.



## 10.0. RECOMENDACIONES PARA MITIGACIÓN DE LOS PROCESOS DE EROSIÓN

Inicialmente se debe definir el cauce original de la quebrada, además diseñar la pendiente del talud, analizando a detalle las condiciones de litología, estructura y meteorización de los materiales constitutivos del mismo. El suelo y la roca son materiales extremadamente complicados y heterogéneos y tienden a deteriorarse con el tiempo por agentes externos y procesos de intemperismo. Los suelos residuales por la presencia de discontinuidades estructurales son especialmente difíciles de manejar.

A continuación, se propone una tabla de pendientes típicas utilizadas para taludes en cortes:

**Tabla 3.** Pendientes típicas utilizadas para taludes en cortes<sup>2</sup>

Material	Propiedades	Altura del corte (mt)	Pendiente Sugerida
Roca dura			0.3 H:1V a 0.8H:1V
Roca blanda			0.5H:1V a 1.2H:1V
Arena	Poco densa		1.5H:1V a 2H:1V
Suelo arenoso	Denso	Menos de 5	0.8H:1V a 1H:1V
		5 a 10	1H:1V a 1.2H:1V
	Poco denso	Menos de 5	1H:1V a 1.2H:1V
		5 a 10	1.2H:1V a 1.5H:1V
Mezcla de arena con grava o masas de roca	Densa	Menos de 10	0.8H:1V a 1H:1V
		10 a 15	1H:1V a 1.2H:1V
	Poco densa	Menos de 10	1H:1V a 1.2H:1V
		10 a 15	1.2H:1V a 1.5H:1V
Suelos cohesivos		0 a 10	0.8H:1V a 1.2H:1V
Suelos cohesivos mezclados con masas de roca o bloques		Menos de 5	1H:1V a 1.2H:1V
		5 a 10	1.2H:1V a 1.5H:1V

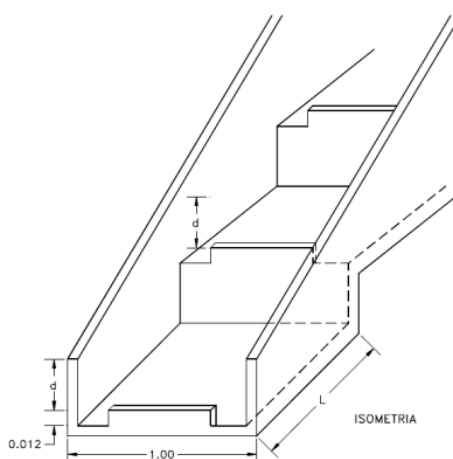
La solución más recomendada, es la conformación de pendientes combinadas de acuerdo a las características del material, Se debe construir bermas intermedias en los sitios de cambio de pendiente y/o en taludes de alturas prolongadas que garanticen un factor de seguridad adecuado contra deslizamiento proporcionando estabilidad de las obras a proteger. La localización y ancho de las bermas depende de la geomorfología y pendientes del terreno en los diferentes sitios.

Estas bermas generalmente tienen un ancho 1 a 2 metros en contra pendiente y se colocan a diferencias de altura entre 5 y 10 metros, dependiendo de la calidad de los suelos y coincidiendo con sitios de cambio de pendiente del talud. En suelos erosionables la berma debe tener una pendiente de 5 a 10 % hacia adentro del talud y se debe construir una cuneta revestida con geomembrana en su parte interior para

<sup>2</sup> SUÁREZ DÍAZ, Jaime. Deslizamientos y estabilización de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander, UIS. 1998.

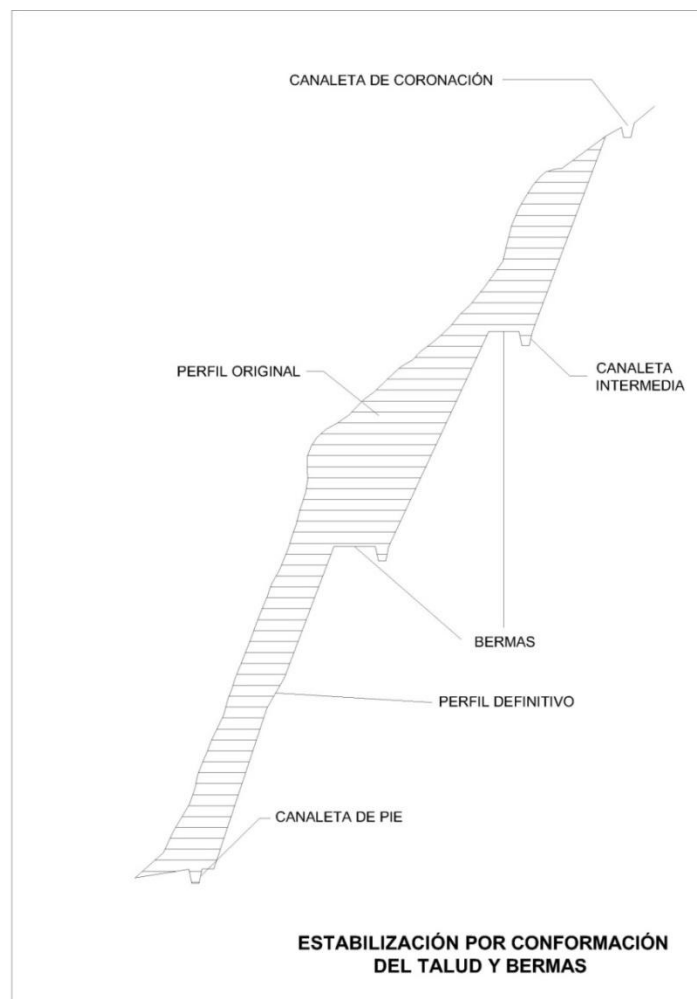
el control y manejo de las aguas de escorrentía y protección en ambos lados de la cuneta con vetiver para controlar el arrastre del material coloidal y particulado por efectos de la erosión laminar. La pendiente longitudinal de la berma debe ser superior al 3 % para garantizar la salida eficiente y rápida del agua recolectada por medio de rondas de coronación y disipadores.

Al construir las terrazas el talud puede quedar dividido en varios taludes de comportamiento independiente, los cuales a su vez deben ser estables. El terraceo se le puede realizar con el propósito de controlar la erosión y facilitar el establecimiento de la vegetación. La altura de las gradas es generalmente, de 5 a 7 metros y cada grada debe tener una cuneta revestida para el control del agua superficial.



**Figura 12.** Disipadores<sup>3</sup>

<sup>3</sup> SUÁREZ DÍAZ, Jaime. Deslizamientos y estabilización de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander, UIS. 1998.

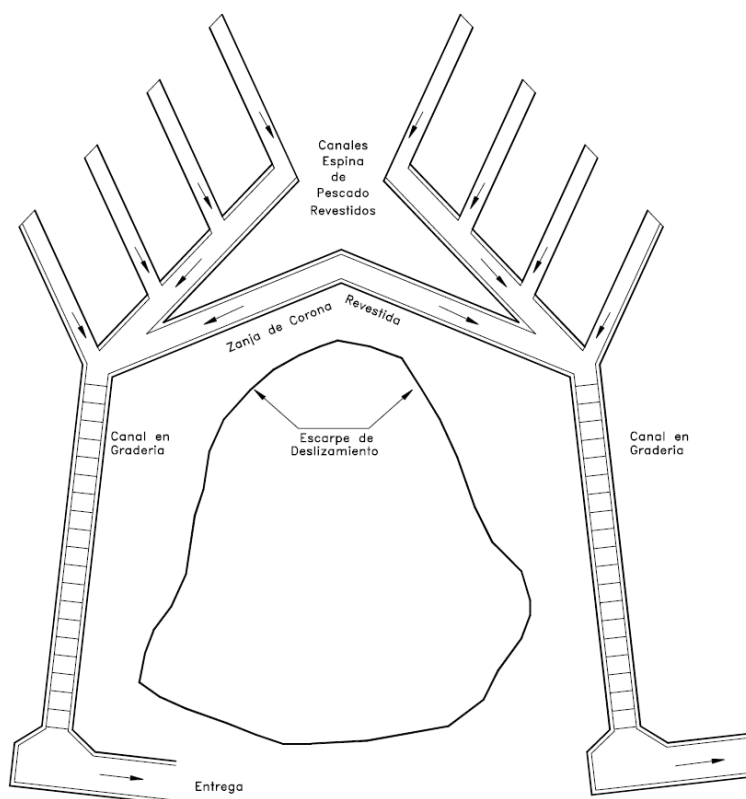


**Figura 13.** Estabilización por conformación de talud y bermas<sup>4</sup>.

Además en la parte alta del talud se deben construir, zanjas en la corona para interceptar y conducir adecuadamente las aguas lluvias, evitando su paso por el talud. La zanja de coronación no debe construirse muy cerca al borde superior del talud, para evitar que se conviertan en el comienzo y guía de un deslizamiento; o se produzca la falla de la corona del talud o escarpe. Se recomienda que las zanjas de coronación sean totalmente impermeabilizadas. Se recomienda construir colectores en espina de pescado, las cuales conducen las aguas colectadas, por la vía más

<sup>4</sup> SUÁREZ DÍAZ, Jaime. Deslizamientos y estabilización de taludes en zonas tropicales. Colombia. Universidad Industrial de Santander, UIS. 1998.

directa hacia afuera de las áreas vulnerables del talud, entregándolas generalmente a canales en gradería.



**Figura 14.** Esquema en planta de canales colectores espina de pescado<sup>5</sup>.

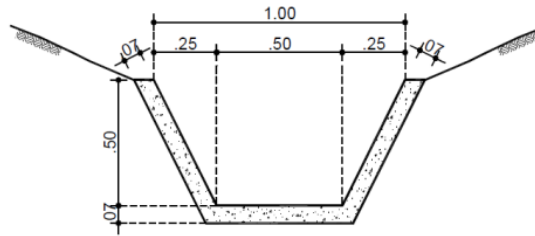
Es importante que las obras de manejo de aguas de escorrentía sean diseñadas con secciones y pendientes suficientes que impidan la concentración de aguas. Se recomienda que los canales desviadores sean totalmente impermeabilizados, así como debe proveerse una suficiente pendiente para garantizar un rápido drenaje del agua captada.

Las dimensiones y ubicación de la zanja pueden variar de acuerdo a la topografía de la zona y al cálculo previo de caudales colectados. Generalmente, se recomienda una zanja rectangular de mínimo 60 centímetros, de ancho y 50 centímetros de profundidad.

<sup>5</sup> SUÁREZ DÍAZ, Jaime. Deslizamientos y estabilización de taludes en zonas tropicales. Colombia. Universidad Industrial de Santander, UIS. 1998.



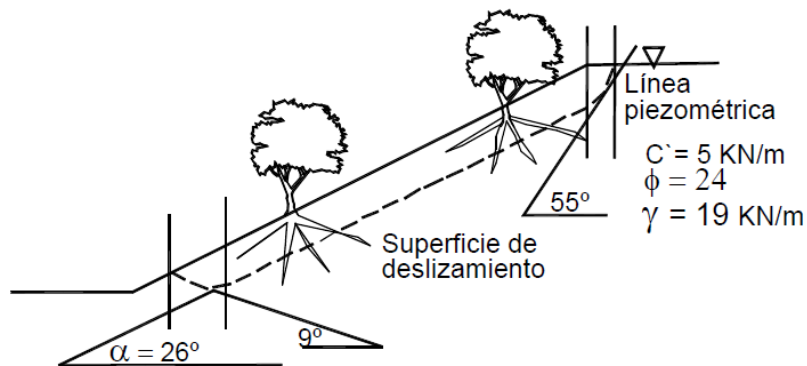
Generalmente se utilizan pendientes uniformes con bermas cada determinada altura. La pendiente a utilizar depende de la pendiente del talud. Debe tenerse especial cuidado en la conformación de la superficie de los taludes, para lo cual se recomienda compactar en forma inclinada, utilizando un sistema de rodillo y/o buldózer. En la mayoría de los casos se requiere proteger el talud con mantos o vegetación.



**Figura 15.** Detalle de cuneta<sup>6</sup>.

El tipo de vegetación tanto en el talud como en el área arriba del talud es un parámetro importante para su estabilidad. La vegetación cumple dos funciones principales: en primer lugar tiende a determinar el contenido de agua en la superficie y además da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces.

Las raíces refuerzan la estructura del suelo y pueden actuar como anclajes en las discontinuidades:



**Figura 16.** Raíces para reforzar la estructura del suelo<sup>7</sup>

<sup>6-7</sup> SUÁREZ DÍAZ, Jaime. Deslizamientos y estabilización de taludes en zonas tropicales. Colombia Universidad Industrial de Santander, UIS. 1998.



**Figura 17.** Siembra o revegetación utilizando Malla Metálica.

La revegetalización de un talud ayuda a controlar la erosión y a aumentar el factor de seguridad. Por esta razón cada día se utiliza más la vegetación en la estabilización de taludes.

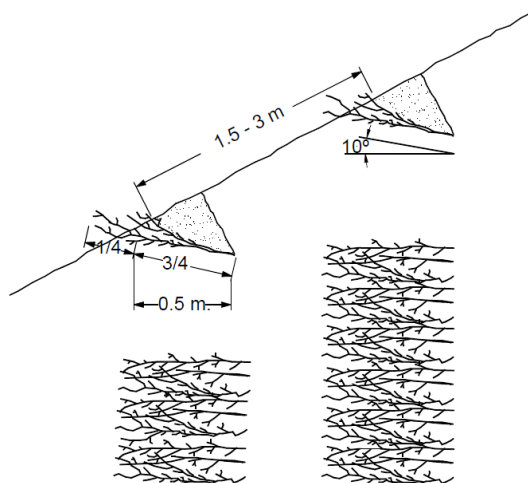
Como regla general, nunca debe plantarse una sola especie, sino una sucesión de variedades en tal forma que se recupere el sistema vegetativo original. Se debe considerar además el manejo apropiado de las técnicas de vegetación para ayudar en el proceso natural de sucesión. A continuación se describe el sistema de revegetación con vetiver.

El Vetiver (*Vetiveria Zizanioides* L.) es una especie de pasto originario de Asia, que se está utilizando con mucha frecuencia en los países tropicales para el control de erosión y para disminuir el potencial de deslizamiento de los taludes.

Esta planta es una gramínea perenne con apariencia de maleza, que alcanza una altura hasta de 1.6 metros en condiciones óptimas y posee un sistema de raíces con una gran cantidad de cilindros fibrosos capaces de alcanzar profundidades de 4 a 5 metros.

El Vetiver resiste fácilmente las sequías y la inmersión en agua, debido a la profundidad de sus raíces. Le gusta la exposición al sol y es capaz de adaptarse a gran cantidad de suelo, desde arena a arcilla y a altitudes climáticas desde el nivel del mar hasta 2500 metros.

El Vetiver crece tanto en ambientes ácidos como en ambientes alcalinos ( $4 < \text{pH} < 11$ ). Resiste concentraciones grandes de contaminantes y no requiere de fertilidad alta del suelo. Idealmente requiere una temperatura de  $15^{\circ}\text{C}$ . La resistencia a la tensión de las raíces del Vetiver varía de 25 a 60 Mpa (Cazzuffi y otros, 2006).



**Figura 18.** Relleno de una cárcava utilizando estacas vivas y fajinas<sup>8</sup>

Las estacas vivas son longitudes de tallo de árboles y arbustos que se entierran en el suelo con el objeto de que broten árboles. El procedimiento es simple, rápido y económico. Las estacas vivas pueden utilizarse como un tratamiento primario en el cual las estacas cumplen un objetivo de anclar otros elementos como trinchos o mantos vegetales, las cuales posteriormente se convertirían en árboles o arbustos. Las estacas deben ser generalmente de uno a tres centímetros de diámetro y de 60 centímetros a un metro de longitud

La parte superior de la estaca debe cortarse normal al eje y la parte inferior en forma de punta para facilitar su inserción.

Se recomienda seguir las siguientes instrucciones de instalación:

<sup>8</sup> SUÁREZ DÍAZ, Jaime. Deslizamientos y estabilización de taludes en zonas tropicales. Colombia. Universidad Industrial de Santander, UIS. 1998.

- Clavar la estaca normal a la superficie del talud utilizando martillos de caucho.
- La densidad de instalación debe ser de tres a cuatro estacas por metro cuadrado para garantizar un cubrimiento adecuado en corto tiempo.
- Las dos terceras partes de la estaca deben estar enterradas.

**Tabla 4.** Espaciamiento recomendado para fajinas vivas (Gray y Sotir, 1996) <sup>9</sup>

Angulo del Talud H:V	Espaciamiento en Líneas de Igual Nivel (mts)	Espaciamiento en Ángulo (mts)
1:1 a 1.5:1	1 a 1.2	0.6 a 1.0
1.5 :1 a 2:1	1.2 a 1.5	1.0 a 1.2
2:1 a 2.5:1	1.5 a 1.8	1.0 a 1.2
2.5:1 a 3:1	1.8 a 2.4	1.2 a 1.5
3:5 a 4:1	2.4 a 2.7	1.5 a 2.1
4.5 :1 a 5:1	2.7 a 3.0	1.8 a 2.4

Las fajinas son manojos de ramas que se entierran en zanjas poco profundas para que germinen en forma similar a como lo hacen las estacas vivas. Las zanjas generalmente, son excavadas a mano y forman un contorno a lo largo de las líneas de nivel del talud.

En taludes muy húmedos también se pueden colocar fajinas siguiendo la pendiente para facilitar el drenaje. Después de colocar las fajinas las zanjas se rellenan con suelo, en tal forma que una parte de las fajinas queda enterrada y otra parte expuesta. La longitud de los ramos de fajina varía de 0.50 a 1.0 metro.

El principal uso de las fajinas es el control de erosión especialmente en zonas de cárcavas. Las fajinas a su vez forman unas líneas decorativas muy agradables al paisaje. Las fajinas generalmente, se hacen con hierbas y juncos adaptados a las condiciones climáticas del sitio.

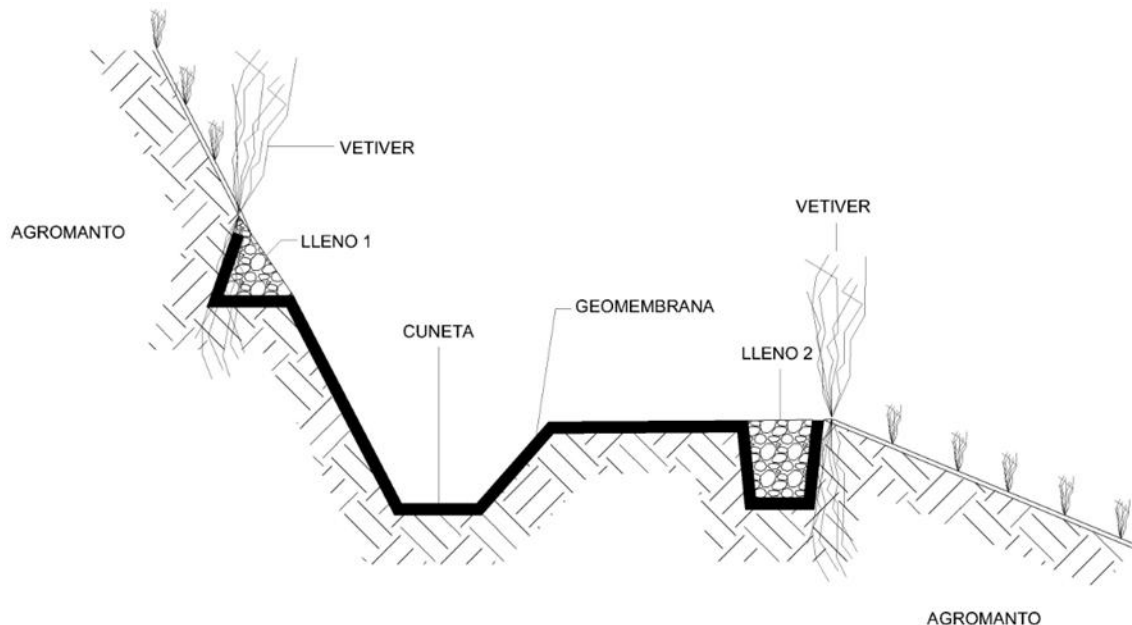
<sup>9</sup> SUÁREZ DÍAZ, Jaime. Deslizamientos y estabilización de taludes en zonas tropicales. Colombia. Universidad Industrial de Santander, UIS. 1998.



Una forma similar a las fajinas son las capas de maleza que consisten en ramos colocados en zanjas en la forma como se indica en la figura 18. Las ramas se colocan formando una red en cruz.

Los espaciamientos de las hileras de maleza son similares a los de las fajinas vivas, aunque en términos generales los espaciamientos deben ser ligeramente menores. Otro sistema es el de relleno de malezas y suelo de cárcavas, utilizando hierbas y estacas vivas.

Para tener un mayor factor de seguridad en las obras de mitigación, se recomienda emplear agromantos, los cuales están conformados por fibras sintéticas naturales, degradables y resistentes a los químicos que habitan en el ambiente natural del suelo. Se emplean donde la vegetación, por sí sola, provee suficiente protección contra la erosión. Los mantos que se emplean para estos casos tienen las propiedades necesarias para reforzar la vegetación y proteger el suelo, bajo las condiciones naturales del sitio.



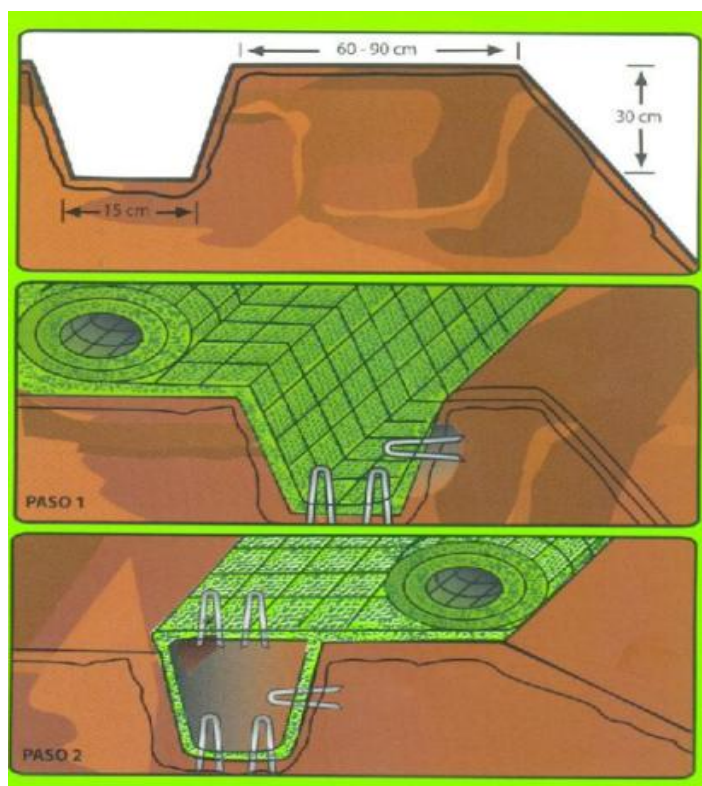
**Figura 19.** Detalle recomendaciones.

Para su instalación se debe preparar el sitio, siguiendo las recomendaciones presentadas a continuación:

- Prepare y compacte el área de instalación. Remueva todas las rocas, raíces, vegetación o cualquier tipo de obstáculo que pueda evitar el contacto del manto con la superficie del suelo.

- Prepare la zona donde se van a sembrar las semillas aflojando unos 5 a 7.5 cm del área ya preparada. Si es necesario incorpore al suelo mejoras como cal y fertilizantes.  
Las semillas deberán seleccionarse adecuadamente según el clima, la altura y la humedad. Deben ser especies resistentes y de vegetación reinante en la zona para así disminuir el impacto ambiental, pueden ser pastos y leguminosas (estas recomendaciones deben ser dadas por agrónomos o profesionales idóneos)
- No coloque coberturas de otro tipo en los lugares en los que va a ser colocado el manto.
- Con el fin de evitar derrumbes desde la cima del talud e infiltración de agua de escorrentía entre el suelo del talud y el manto para control de erosión, el extremo superior del rollo del manto se deberá enterrar en una zanja, excavada únicamente con dicho propósito, asegurando el manto al extremo superior de la zanja en forma de doble faz y fijándolo al terreno con tres (3) ganchos por metro lineal, después de lo cual se tapara la zanja. Dicha zanja de anclaje deberá ser de quince por quince centímetros (15 x 15 cm) y a una distancia de sesenta a noventa centímetros (60 a 90 cm), medidos desde la corona del talud.

Tal como se indicó en el último párrafo anterior, a continuación se deberá colocar el rollo a una distancia de sesenta a noventa centímetros (60 a 90 cm) sobre la corona del talud, asegurarlo en la zanja con los dispositivos de anclaje y rellenar y compactar con el material proveniente de la excavación o según lo indique el Interventor.



**Figura 20.** Detalle anclaje Agromanto<sup>10</sup>.

Desenrollar el manto hacia abajo del talud, traslapando siete con cinco centímetros (7,5 cm), como mínimo, los rollos adyacentes. Extender el material libremente, manteniendo contacto directo con la superficie del talud o la ladera. En el traslape se colocará una hilera de ganchos separados entre sí una distancia no mayor de cincuenta centímetros (50 cm).

**Tabla 5.** Pendiente del talud y frecuencia del anclaje<sup>11</sup>.

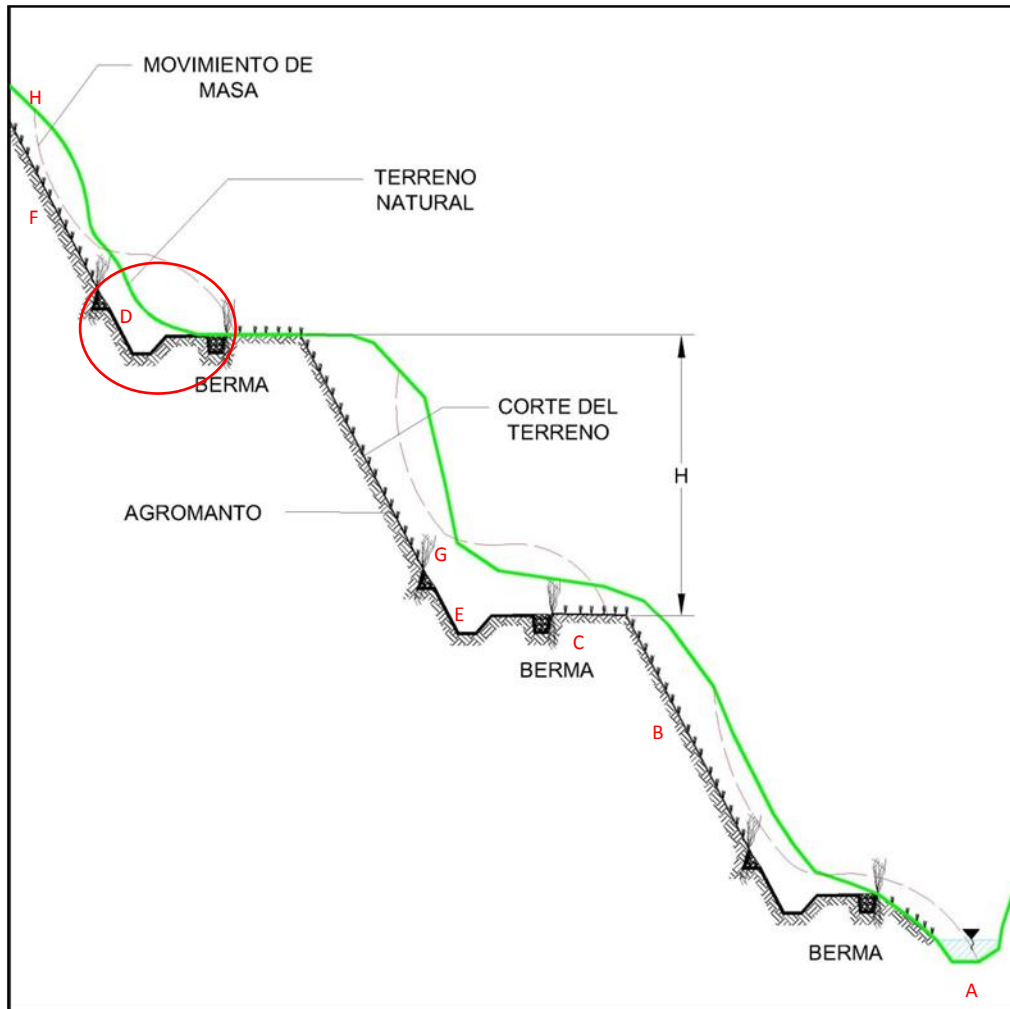
Pendiente del Talud (Inclinación)	Frecuencia del anclaje (1)
Hasta 3H:1V	1,35 anclajes/metro cuadrado
3H:1V a 2H:1V	2 anclajes/metro cuadrado
2H:1V a 1H:1V	2 a 4,1 anclajes/metro cuadrado
Mayor a 1H:1V	4,1 anclajes/metro cuadrado

<sup>10</sup> - <sup>11</sup> Geosistemas. Recomendaciones PAVCO.

Como dispositivos de anclaje para la fijación del manto, se podrán utilizar elementos tipo gancho en “U”, metálicos, de ocho milímetros (8 mm) de diámetro, de 20 x 10 x 20 cm para terrenos blandos y 15 x 5 x 15 cm para terrenos duros. Los ganchos se deberán colocar en un ángulo aproximado de 30° con respecto a la superficie del talud y en el sentido de la pendiente.

## 11.0. CONCLUSIONES

De acuerdo a lo observado en campo y las recomendaciones indicadas en el título anterior, a continuación se darán las especificaciones técnicas para intervenir el talud y mitigar los procesos de erosión.



**Figura 21.** Detalle explicación recomendaciones.



- A. Inicialmente se debe restituir el cauce original de la quebrada pues el alud de material depositado afecta el cauce y los lineamientos de la sección hidráulica de la quebrada la paja, minimizando la capacidad hidráulica pues obstruye el paso, aumenta la velocidad y produce socavación en las paredes de los taludes.
- B. Pendiente sugerida según el tipo de material encontrado:

**Tabla 6.** Pendiente sugerida según el tipo de material

Material	Propiedades	Altura del corte (mt)	Pendiente Sugerida
Roca dura			0.3 H:1V a 0.8H:1V
Roca blanda			0.5H:1V a 1.2H:1V
Arena	Poco densa		1.5H:1V a 2H:1V
Suelo arenoso	Denso	Menos de 5	0.8H:1V a 1H:1V
		5 a 10	1H:1V a 1.2H:1V
	Poco denso	Menos de 5	1H:1V a 1.2H:1V
		5 a 10	1.2H:1V a 1.5H:1V
Mezcla de arena con grava o masas de roca	Densa	Menos de 10	0.8H:1V a 1H:1V
		10 a 15	1H:1V a 1.2H:1V
	Poco densa	Menos de 10	1H:1V a 1.2H:1V
		10 a 15	1.2H:1V a 1.5H:1V
Suelos cohesivos		0 a 10	0.8H:1V a 1.2H:1V
Suelos cohesivos mezclados con masas de roca o bloques		Menos de 5	1H:1V a 1.2H:1V
		5 a 10	1.2H:1V a 1.5H:1V

- C. Berma:

Estas bermas generalmente deberán tener un ancho 3 metros. En suelos erosionables la berma debe tener una pendiente de 5 a 10 % hacia adentro del talud y se debe construir una cuneta revestida con geomembrana en su parte interior para el control y manejo de las aguas de escorrentía y protección en ambos lado.

D. Sección de Cuneta:

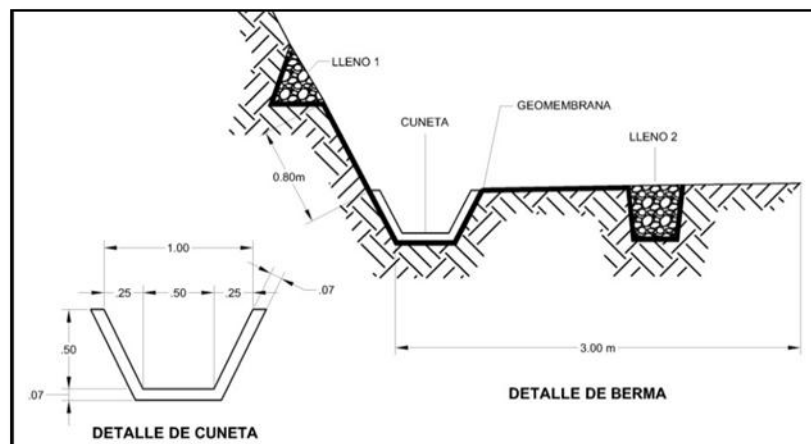


Figura 22. Detalle de berma y de cuneta.

E. La geomembrana recomendada es:

GEOMEMBRANA LISA (POLIETILENO ULTRAFLEXIBLE DE DENSIDAD LINEAL LLDPE)

Tabla 7. Propiedades geomembranas<sup>12</sup>.

PROPIEDADES		NORMA	UNIDAD	20 mil	30 mil	40 mil	60 mil
PROPIEDADES MECÁNICAS	Resistencia a la Rotura	ASTM D 6693 Tipo IV	kN/m	14	20	27	40
	Estiramiento a la Rotura	ASTM D 6693 Tipo IV	%	800	800	800	800
	Resistencia al Rasgado	ASTM D 1004	N	47	71	98	147
	Resistencia al Punzonamiento	ASTM D 4833	N	126	190	250	370
PROPIEDADES FÍSICAS	Espesor Nominal	ASTM D 5199	mm	0.50	0.75	1.0	1.5
	Densidad	ASTM D 1505	g/cm³	>0.94	>0.94	>0.94	>0.94
	Contenido Negro de Humo	ASTM D 1603	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0
	Tiempo de Inducción a la Oxidación	ASTM D 3895, 200°C	>100	>100	>100	>100	>100
	Envejecimiento al Horno 85°C 90 días Retención OIT% (ASTM D 3895 o D 5885)	ASTM D 5721	>35/60	>35/60	>35/60	>35/60	>35/60
	Envejecimiento Ultra Violeta 1600hrs OIT Retenido (ASTM D 5885)	GM 11	>60	>60	>60	>60	>60
PRESENTACIÓN	Longitud de Rollo (aprox.)	Medido	m	450	300	225	150
	Ancho del Rollo	Medido	m	7.01	7.01	7.01	7.01
	Área del Rollo	Calculado	m²	3155	2103	1577	1052

<sup>12</sup> Especificaciones técnicas Geosistemas PAVCO.

F. El agromanto recomendado es :

**Tabla 8.** Detalle Agromantos<sup>13</sup>.

PROPIEDADES MECÁNICAS				PROPIEDADES MECÁNICAS	
NORMA	3000 F-P	3200 FC-F	4600 FC-FP	ASTM D4595	ECOMATRIX
Resistencia a la tensión	ASTM D4595	1.3 kN/m	1.8 kN/m	2.1 kN/m	4.0 kN/m
Elongación	ASTM D4595	22% Max	15% Max	18% Max	10%
Rigidez	ASTM D1388	6 a 10 cm	8 a 12 cm	13 a 18 cm	
PROPIEDADES FÍSICAS				PROPIEDADES FÍSICAS	
NORMA	3000 F-P	3200 FC-F	4600 FC-FP	Medido	ECOMATRIX
Masa por unidad de área	ASTM D5261	300 +/- 30 g/m <sup>2</sup>	320 +/- 32 g/m <sup>2</sup>	460 +/- 46 g/m <sup>2</sup>	2 x 5 mm
Espesor	ASTM D5199	3.0 mm	3.2 mm	5.0 mm	ASTM D570
Penetración de luz (% absorción)	Método ECTC	50 a 70%	50 a 70%	70 a 90%	0.01%
La recuperación a la carga para todas las referencias según el método ECTC, es del 60 al 70%. La absorción del agua según la norma ASTM D1117, para todas las referencias es de tres a cuatro veces su peso.					
DURACIÓN Y PRESENTACIÓN DE ROLLOS				PRESENTACIÓN DE ROLLOS	
NORMA	3000 F-P	3200 FC-F	4600 FC-FP	Fabricante	ECOMATRIX
Longevidad funcional <sup>1</sup>	Observado	<12 meses	<24 meses	<36 meses	PP
Peso del rollo	Calculado	30 kg	32 kg	46 kg	-
Ancho	m	2	2	2	Verde
Largo	m	50	50	50	Medido
Área	m <sup>2</sup>	100	100	100	300 m
					1140 m <sup>2</sup>

G. Espaciamiento para la siembra del vetiver

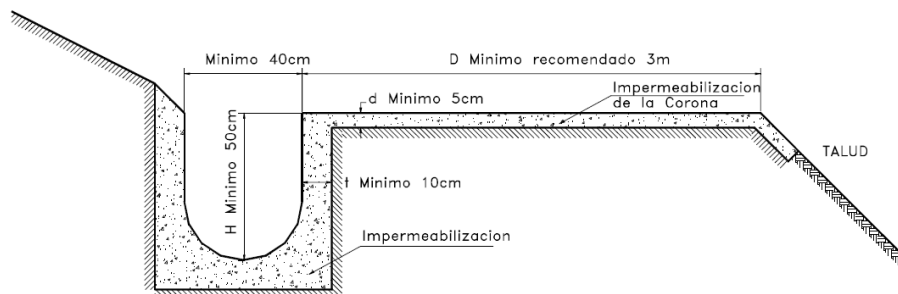
**Tabla 9.** Espaciamiento para la siembra del Vetiver<sup>14</sup>.

Angulo del Talud H:V	Espaciamiento en Líneas de Igual Nivel (mts)	Espaciamiento en Ángulo (mts)
1:1 a 1.5:1	1 a 1.2	0.6 a 1.0
1.5 :1 a 2:1	1.2 a 1.5	1.0 a 1.2
2:1 a 2.5:1	1.5 a 1.8	1.0 a 1.2
2.5:1 a 3:1	1.8 a 2.4	1.2 a 1.5
3:5 a 4:1	2.4 a 2.7	1.5 a 2.1
4.5 :1 a 5:1	2.7 a 3.0	1.8 a 2.4

<sup>13</sup> Ficha técnica control de erosión PAVCO

<sup>14</sup> SUÁREZ DÍAZ, Jaime. Deslizamientos y estabilización de taludes en zonas tropicales. Colombia. Universidad Industrial de Santander, UIS. 1998.

## H. Detalle Ronda de Coronación



**Figura 23.** Detalle ronda de coronación<sup>15</sup>

**NOTA:** Las recomendaciones dadas en el presente informe están sujetas a verificación por medio de topografía, para determinar longitudes, cortes y perfiles que indiquen las medidas reales en las estructuras propuestas y proyectadas, como medidas de mitigación en los diferentes sitios, donde se presenta desestabilización.

Por tal razón se requiere para la ejecución, los diseños y dimensionamiento de cada uno de los elementos en las estructuras propuestas.

<sup>15</sup> SUÁREZ DÍAZ, Jaime. Deslizamientos y estabilización de taludes en zonas tropicales. Colombia. Universidad Industrial de Santander, UIS. 1998.



## **BIBLIOGRAFIA**

- Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas trópicas  
Instituto de investigación sobre erosión y deslizamiento  
Autos: Jaime Suárez Díaz  
Publicaciones UIS  
Colombia, Julio de 1998
- Manual de ordenación de cuencas hidrográficas  
Estabilización de laderas con tratamiento del suelo y la vegetación  
Guía FAO conservación  
Autor: H.M Schiechtl, consultor de la FAO  
Organización de las naciones unidas para la cultura y la alimentación (FAO)  
Roma, 1986

**JUAN CARLOS OBANDO ALVAREZ**  
**INGENIERO CIVIL**  
**ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS**  
**M.P. N°: 0520262476ANT**