

## ESTUDIO DE AMENAZAS GEOLÓGICAS Y RECOMENDACIONES GEOTÉCNICAS

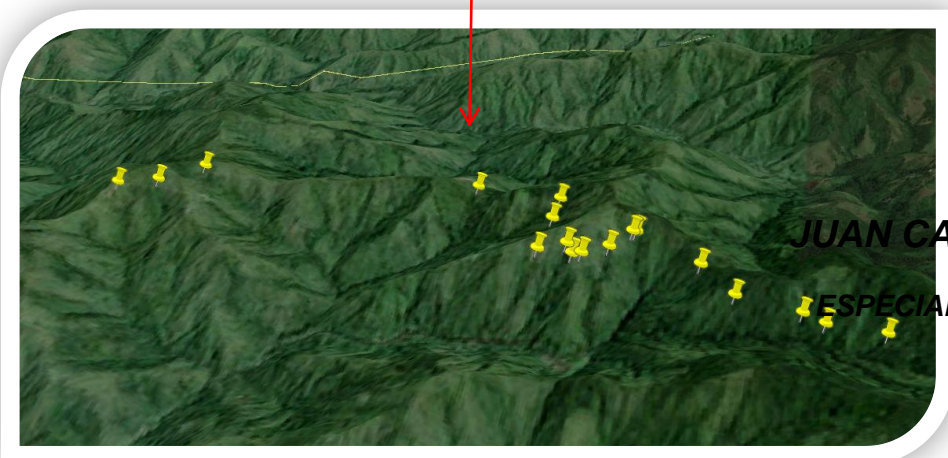


**PROYECTO:**

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

**INTERESADO:**

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



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

**Medellín, Julio 23 de 2014**



INFORME RECOMENDACIONES GEOTECNICAS Infraestructura De Acueducto Municipio de Cañasgordas.			
Aprobación	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.....	6
4.0.	EVALUACIÓN GEOLOGÍA Y GEOMORFOLÓGICA.....	8
4.1.	GEOLOGIA DEL MUNICIPIO.....	8
4.2.	GEOMORFOLOGÍA DEL MUNICIPIO.....	11
4.3.	GEOLOGÍA SITIO.....	14
5.0.	CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS DE LA REGIÓN.....	20
6.0.	TECTONISMO GENERAL.....	21
7.0.	SISMICIDAD.....	23
8.0.	ANÁLISIS DEL SECTOR EXPLORADO.....	28
9.0.	ANÁLISIS DE LOS PROCESOS EROSIVOS ENCONTRADOS EN LA ZONA.....	34
10.0.	RECOMENDACIONES PARA MITIGACIÓN DE LOS PROCESOS DE EROSIÓN.....	38
11.0.	CONCLUSIONES.....	50

## 1.0. INTRODUCCIÓN

En el ***Municipio de Cañasgordas (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 ***04 y 05 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:

### ***Etapa 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.

### ***Etapa 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.

### ***Etapa 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

El municipio de Cañasgordas está situado en la región del occidente del departamento de Antioquia con una extensión de 391 kilómetros cuadrados, con un altitud de 1.300 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura promedio de 21 grados centígrados y dista de Medellín por vía terrestre 116 kilómetros, el acceso principal al municipio se hace a través de la vía de secundarias con los municipios de Abriaquí y Frontino, igualmente a los corregimientos y a una gran cantidad de veredas a través de vías terciarias. Limita por el suroeste con los municipios de Giraldo y Abriaquí, por el occidente con el municipio de Frontino, por el oriente con el municipio de Buriticá, por el norte con los Municipios de Uramita y Dabeiba, y por el noreste con el municipio de Peque.



**Figura 1.** Localización de la zona de estudio.





### 3.2. CLIMA

#### · Temperatura.

Este parámetro presenta muy poca variación estacional. De acuerdo con Integral (1996) Los valores mínimos fluctúan entre 13.2 y 14.9°C, los medios entre 21 y 22°C y entre 28.6 y 31.6°C los máximos

#### · Evaporación.

Los valores más altos de evaporación se dan en los meses secos (diciembre - marzo y julio - agosto), que concuerdan con las mayores radiaciones y menores precipitaciones, en tanto que los valores bajos corresponden a los meses de invierno (abril-mayo y octubre-noviembre) coincidentes con las máximas precipitaciones y los menores valores de brillo solar.

#### · Humedad Relativa.

La humedad relativa en la estación de Musinga presenta un comportamiento bimodal, con los valores más altos en los meses húmedos y los menores en los meses secos. Los valores medios son del 83 y el 87% en la estación Cañasgordas.

**Tabla 1.** Humedad relativa.

PISO TÉRMICO	ALTURA (msnm)	SUPERFICIE (km <sup>2</sup> )	VARIACIÓN TEMPERATURA <sup>1</sup>
Cálido	0-1.000	1.160	24-30°C
Templado	1.000 - 2.000	1.360	18-24°C
Frío	2.000 - 3.000	2.155	12-18°C
Páramo	3.000 – 4.000	125	6-12°C

<sup>1</sup> La variación en la temperatura anual promedio no es mayor de 3°C para un mismo lugar.

**-Piso cálido**, región baja de los ríos Penderisco, Murri, Chaquenodá, Carauta, Jambaradó Ocaidó, Arquía y Bebará, con alturas entre los 200 y 1.000 msnm y una temperatura media anual entre 24 y 30°C.

**-Piso templado**: se encuentra en la zona ubicada entre los 1.000 y 2.000 msnm con una temperatura media anual entre 18 y 24°C y corresponde a gran parte de la vertiente occidental de la Cordillera Occidental en la zona de trabajo.

**-Piso frío**: Se encuentra entre los 2.000 y 3.000 msnm hacia el eje de la cordillera con una temperatura media anual entre 12 y 18°C.



**-Piso de páramo:** Es el área comprendida por encima de 3.000 msnm con temperatura anual inferior a 12°C y en la zona de trabajo corresponde al páramo de Frontino.

Las variaciones de los promedios anuales de temperatura no supera los 3°C para el mismo lugar; sin embargo, las diferencias diarias son mucho mayores con noches más frescas.

La distribución de las lluvias a lo largo del año, por lo general, es bimodal, con la ocurrencia de dos períodos mayores de lluvias, intercalados con dos de menor precipitación.

## 4.0. EVALUACIÓN GEOLOGÍA Y GEOMORFOLÓGICA

### 4.1. GEOLOGIA DEL MUNICIPIO

#### Estratigrafía

Duque-Caro (1990) incluye al arco de Dabeiba como un elemento estructural y litogenético que hace parte, limitando su margen oriental, del Bloque de Choco. Este último es planteado por el citado autor como un terreno exótico que no presenta ninguna afinidad litogenética con el resto del continente suramericano. Igualmente se plantea a la zona de falla de Uramita como la sutura a través de la cual se ponen en contacto el bloque de Choco (Proveniente de centroamérica) con la cordillera Occidental colombiana.

Las unidades geológicas que afloran dentro de los límites municipales de Cañasgordas hacen parte del denominado arco de Dabeiba y están formados por rocas sedimentarias e ígneas, cuyas edades varían desde el Cretáceo hasta el Cuaternario.



Las principales formaciones Geológicas son:

### · Unidades Cretácicas

Grupo Cañasgordas. Este fue inicialmente definido por Alvarez (1970) como un grupo compuesto por dos niveles, uno sedimentario y otro volcánico, los cuales fueron posteriormente denominados por Alvarez y González (1978) como formación Penderisco y Barroso respectivamente.

La Formación Penderisco consta de los Miembros Urrao y Nutibara. El Miembro Urrao, está compuesto de arcillolitas, limolitas y areniscas intercaladas localmente con capas lenticulares de conglomerados polimícticos con cantos de roca volcánica y chert principalmente; Este miembro es considerado de edad cretáceo medio. El Miembro Nutibara está formado por capas delgadas de caliza y chert negro, intercalados hacia el tope con lutitas y esporádicamente areniscas de grano fino, a este miembro se le atribuye una edad de cretáceo superior.

La Formación Barroso está formado por diabasas y basaltos de color verde, localmente con estructura almohadillada y con interestratificaciones de tobas y niveles de chert. La textura de las vulcanitas varía entre ofítica, subofítica, amigdaloides, piroclástica y glomeroporfírica; a esta formación se le atribuye una edad de cretáceo tardío.

## Suelos

### Características Morfológicas, Físicas y Químicas de los Suelos.

El análisis y discusión de los suelos que se presenta a continuación tiene como base el "Estudio General de los Suelos de Antioquia" (IGAC, 1979).

Asociación Andes (AG): Ocupa posiciones geomorfológicas de vertientes masivas con relieve fuertemente quebrado a escarpado cuya longitud de la pendiente es de moderada a alta, y el grado de la misma, alto (Mayor de 50%). Son suelos bien drenados, profundos y erosión de ligera a media, en donde predomina la de tipo hídrica superficial. El color varía entre tonalidades de rojo, amarillo y pardo; la textura es predominantemente franco arenosa y la estructura en bloque subangulares finos. La consistencia es friable, no plástica y pegajosa. Como limitantes de tipo físico posee el relieve y la erosión y de tipo químico la pobre fertilidad y baja CICE. Espacialmente ocupan menos del 2% del territorio municipal

Asociación Escobillal (ES): Corresponde a unidades geomorfológicas de laderas o vertientes, cuyo relieve varía de ligeramente ondulado, inclinado a muy escarpado. Son suelos profundos, de color rojo amarillento a pardo oscuro, textura franco arenosa a franco arcillosa y estructura en bloques angulares a subangulares de medios a finos. Los limitantes físicos y químicos principales corresponden a la profundidad efectiva, toxicidad por aluminio, relación Ca/Mg invertida y baja CICE.

Asociación Guasabra (GB): Ocupa posiciones geomorfológicas de vertientes y cimas ó crestas de la cordillera; El relieve es, por lo general, de fuertemente inclinado a muy escarpado (Normalmente con pendientes superiores al 60%), son suelos profundos a superficiales, con textura franco arenosa a franco arcillosa y estructura de bloques subangulares de finos a medios y en algunos casos sin estructura aparente, el color varía entre rojo y pardo amarillento, la consistencia es friable, no pegajosa y no plástica. Son suelos bien drenados y presentan erosión por escurrimiento difuso, surcos y movimientos en masa localizados; El grado de erosión es severo en algunas unidades. Los principales limitantes físicos y químicos son la erosión, ligera toxicidad por aluminio y pobre fertilidad.

Asociación Horizontes (HB): Ocupa posiciones geomorfológicas de vertientes disectadas con relieves de pendientes de longitud larga y grado de muy quebrado a escarpado (Mayor de 50%). La textura es poco seleccionada (Franco arenosa principalmente), presenta color pardo oscuro, la estructura predominante es la granular y la consistencia fina, muy friable, pegajosa y no plástica. Presenta como principales limitantes físicos la poca profundidad efectiva, la erosión moderada, y relieve; De tipo químico ligera toxicidad por aluminio, baja CICE y pobre fertilidad.

Asociación Nana (NL): Ocupa posiciones geomorfológicas de abanicos de pie de monte y valles coluviales. El relieve es plano con pendientes del orden del 3%. El material parental corresponde a cuaternario coluvio-aluvial, el color varía de pardo oscuro a pardo amarillento, la textura es franco arcillosa y sin estructura definida. Son suelos que presentan imitaciones en profundidad efectiva, drenaje, inundaciones y en su capacidad de intercambio catiónica efectiva (CICE).

Asociación Penderisco (PE): Ubicada geomorfológicamente sobre valles estrechos con pendientes inferiores al 3%. Son suelos superficiales a moderadamente profundos, limitados cuyo drenaje natural varía de imperfecto a moderado. Tanto textural como estructuralmente son bastante heterogéneos variando la primera de franco arcillosa a franco gravosa y la segunda de ausencia de la misma a bloques subangulares medios, el color principal es de varias tonalidades a pardo, la

consistencia es normalmente friable en húmedo, pegajoso y plásticos. Se encuentran limitados física y químicamente por la profundidad, el drenaje, las inundaciones y ligera toxicidad por aluminio y fertilidad.

Asociación Poblano (PO): Ocupa posiciones geomorfológicas de colinas bajas y coluviones con relieve moderado a fuertemente inclinado, el grado de la pendiente varía entre 7% y 50%. La textura predominante es franco gravosa y la estructura granular fina. La consistencia es friable ligeramente pegajosa, y plástica a ligeramente plástica. El color varía de pardo a gris muy oscuro. Los limitantes físicos principales son la profundidad, el relieve y la erosión, los químicos son toxicidad por aluminio baja CICE.

Asociación Riosucio (RS): Ocupa posiciones geomorfológicas de valles intramontanos. El relieve es plano con pendientes del orden del 3%. El material parental corresponde acuaternalio aluvial, el color varía de pardo amarilloso a rojo, textura franco arcillosa y estructura granular fina. Son suelos superficiales, mal drenados, limitados por la profundidad efectiva, un drenaje pobre, inundaciones. Presenta erosión por socavación lateral. La fertilidad natural varía de moderada a pobre.

## 4.2. GEOMORFOLOGÍA DEL MUNICIPIO

A nivel geomorfológico, la zona de estudio se encuentra poco investigada. Tal vez los trabajos que más énfasis hicieron en lo geomorfológico, se refieren a los adelantados por la Woodward Clyde Cons., dentro de los reconocimientos sobre geología sísmica y sismicidad en el Nor-Occidente Colombiano, hacia finales de los años 70 y principios de los 80, los cuales se compilaron en el informe de Page (1986).

A nivel regional se distinguen cinco unidades fisiográficas importantes: Vertientes, Cañones Intramontañosos, Planicies Depositionales y Geoformas Menores.

### Cañones Intramontañosos

En la margen Oeste de la cordillera, los cañones drenan hacia el río Atrato y son más largos que los de la margen Oriental de dicha cordillera. Hacia el Norte el más importante corresponde al que forma el Riosucio.

En general, el intenso fracturamiento y los plegamientos de las rocas del basamento, han provocado una fuerte incisión de las corrientes, las cuales siguen en su mayoría la trayectoria de algunas fallas importantes de la zona. Esta unidad fisiográfica presenta, además, pequeñas terrazas y depósitos de vertiente.

### **Unidad de Vertientes.**

Son formas dominantes en la composición del relieve regional. Por su localización pueden dividirse en:

- Vertientes Altas.

Corresponden a las que flanquean las cumbres cordilleranas y enmarcan el curso alto de las corrientes. Van desde empinadas con declives mayores de 30°, hasta localmente escarpadas. Los terrenos sobre los que se encuentran modeladas presentan escaso desarrollo de suelos y en ocasiones son de carácter rocoso.

- Vertientes Intermedias y Bajas.

Corresponden a las que enmarcan los cañones y valles excavados por las corrientes en sus cursos medio y bajo; Son desde moderadas hasta empinadas, con declives entre 15° y 30°.

Sus terrenos presentan un mayor desarrollo de sobrecapa de meteorización y frecuentemente son de características saprolíticas, conformando zonas de relieve relativamente maduros, como los que se presentan en las cuchillas residuales de La Herradura.

## Unidad de Planicies Deposicionales.

Corresponden propiamente a las zonas de relieve desde suave a casi plano que forman el fondo de los valles. Por su origen y forma de emplazamiento pueden dividirse en:

### · Flujos.

Son formas del relieve de características, onduladas, suaves y hasta casi planas que contrastan con el relieve montañoso y de vertientes de la zona que se localizan a manera de plataforma por encima de las terrazas y planicies aluviales con las que aparecen conformando porciones de terreno de alguna extensión

### · Planicies Aluviales.

Son formas del relieve desarrolladas a lo largo de los cauces de las corrientes principales y hacen parte de los terrenos que conforman el fondo del valle del río Cañasgordas. Sobre este depósito se destaca geomorfológicamente la existencia de al menos tres niveles de terrazas aluviales y la llanura de inundación.

Los niveles del más antiguo al más moderno son:

- Terraza Uno (T1): Altura respecto al nivel actual (Dic. 1990) del río de 30 - 36m. Comprende la parte Centro Occidental del poblado en la zona del parque principal y a lo largo de la carrera 30
- Terraza Dos (T2): Es de 12 a 16m más baja que la anterior (18 a 20m de altura relativa). Ocupa una franja alargada en la parte Centro Norte del poblado
- Terraza Tres (T3): Es la más baja y por lo tanto la más joven. Tiene altura relativa promedio de 14 a 16m y se encuentra 4m por debajo de T2. Ocupa una franja alargada paralela al río Cañasgordas en el sector Noroeste
- Llanura de Inundación del Río Cañasgordas: Es una franja alargada estrecha y discontinua. La parte más ancha alcanza entre 100 y 130m y tiene una altura relativa de 1 - 3 m, siendo muy susceptible a inundación
- Abanicos Aluviales: En la desembocadura de las quebradas mayores al río Cañasgordas. La pendiente es moderada (Aproximadamente igual a 10°) se encuentra frecuentemente disectados por el cauce principal de las quebradas. Los abanicos son de Sureste a Noroeste son los siguientes: quebrada Tabaquero,

Apucarco, unidad deportiva, zona del puente Los Ospinas, zona Occidental del parque principal, puente Cristo Rey y margen derecha frente al cementerio municipal.

#### 4.3. GEOLOGÍA SITIO

Según el informe entregado por la empresa contratante se identifica que a nivel de Geología Regional, la cabecera del corregimiento Cestillal se localiza en el núcleo de la Cordillera Occidental, conformado por rocas ígneas y sedimentarias depositadas en un fondo marino, las cuales en el norte de Colombia se han considerado como Grupo Cañasgordas, que incluye según INGEOMINAS (1989), un nivel volcánico (Formación Barroso), que no aflora cerca de la zona de este trabajo y un nivel sedimentario (Formación Penderisco). La edad del Grupo Cañasgordas, de acuerdo con todos los trabajos llevados a cabo hasta la fecha se considera del Cretáceo Tardío.

*Formación Penderisco:* Se compone de rocas sedimentarias depositadas en un ambiente marino profundo, sobre los basaltos de la Formación Barroso. Por su composición ha sido subdividida en los Miembros Urrao y Nutibara, el primero, de carácter arenoso a limo-arcilloso y el segundo que contiene chert, con intercalaciones de limolitas, rocas piroclásticas básicas y calizas silíceas, el cual no aflora en la zona de este estudio. Por el fuerte plegamiento y fallamiento no se conoce el espesor de la formación ni los contactos entre los miembros

*El Miembro Urrao (Ksu),* compone toda la zona de este trabajo hasta Cestillal como única unidad litológica y por tal razón no se presenta un mapa geológico. Las rocas de esta unidad están compuestas por arcillolitas, limolitas y areniscas compactas, dispuestas en estratos plano – paralelos, delgados, en general de menos de 20 cm., depositadas en un fondo marino profundo por corrientes de turbidez, que se alternan en una sucesión monótona. El sedimento original fue sido objeto de numerosos procesos geológicos desde su depositación en mar profundo, pasando por litificación y levantamiento para ser integrado al continente como un macizo rocoso duro y resistente. Durante este proceso, se produjeron esfuerzos importantes que plegaron y deformaron las rocas, incluyendo fracturamiento de la roca original, lo que facilita su meteorización y la formación de fenómenos de inestabilidad.

El espesor de los perfiles de meteorización varía sustancialmente en pocas decenas de metros, así por ejemplo, dentro del casco urbano de Cestillal y la vía a La Aguada, es decir, sobre el filo principal, ellos se presentan con mayor espesor, del orden de 5

m o más, mientras que en las vertientes que cruza la conducción en sus primeros kilómetros, alcanza a aflorar un suelo tipo C-III, donde la mayor parte de la masa consiste de roca meteorizada superficialmente. Un caso particular que puede ser representativo para los filos que muestran mayor redondeamiento lo constituye la vertiente cercana a La Aguada, donde sólo el horizonte C-VI, alcanza más de 1.5 m. mostrando además colores crema con moteados rojizos, típicos de suelos muy maduros con edades de centenares de miles de años.

**Tabla 2.** Perfiles del suelo.

SUELO	PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN
A	0.00 a 0.15	Horizonte orgánico color pardo oscuro a negro, limoarenoso, sin estructuras, con raíces vivas, pero con algunos guijarros de la roca original casi totalmente meteorizados, menos del 10%.
B	0.15 a 0.25	Suelo limoarcilloso, pardo rojizo, meteorizado, se distingue algo de la textura original de la roca, con 10 a 20% de fragmentos meteorizados de roca hasta 10 cm Ø.
C-VI	0.25 a 1.5	Suelo pardo amarillo a pardo rojizo, con matriz limoarenosa, con menos de 15% de fragmentos de roca totalmente meteorizados. Resistencia con penetrómetro R= 2.5 Kg/cm <sup>2</sup> .
C-V	1.5 a 2.4	Suelo color pardo rojizo, matriz limoarcillosa, cohesivo, firme, con 15 a 20% de fragmentos de roca semimeteorizados. R=2.5. Kg/cm <sup>2</sup> .
C-IV	2.4 a 3.8	Suelo color pardo-ocre, limoarcilloso, cohesivo, firme con 20 a 30% de fragmentos de roca meteorizados casi totalmente. R=3.5 Kg/cm <sup>2</sup> .
C-III	3.8 a 5.1	Suelo color pardo- ocre, limoarcilloso, con más de 50% de fragmentos de roca meteorizados. R=3.5 Kg/cm <sup>2</sup> .

Los datos de resistencia fueron tomados en afloramiento con penetrómetro de mano sobre el suelo en estado húmedo no saturado y muestran valores que indican una buena capacidad de soporte siempre y cuando no exista saturación por agua. En cercanías a La Aguada se levantó sobre la vía un perfil con las siguientes características:





**Foto 1.** a) perfil de meteorización y suelo en vertientes. b) perfil de meteorización y suelos en el filo por donde corre la vía.

### ***Geología estructural***

La secuencia original de limolitas y areniscas aflora en numerosos puntos, especialmente en los cortes de la vía Cestillal – La Aguada y en el lecho de las quebradas, mostrando casi siempre los planos de estratificación con disposición desde 30° hasta casi vertical y orientación muy uniforme desde N15E, hasta N25E, sin mostrar superficialmente mayor control estructural sobre el paisaje local. La cartografía regional realizada por INGEOMINAS (1989), no muestra fallas importantes en cercanía al área de este trabajo.

## GEOMORFOLOGÍA

Al igual que en el tema de Geología, la Geomorfología del área estudiada muestra una sola unidad que se puede nombrar como Montañas Denudacionales, ellas tienen altura media entre 600 y 700 m entre cima y valle, con topes rectos y escalonados, alargados en dirección E-W, amplios, hasta de 150 m, redondeados, con vertientes cortas, menores de un kilómetro de longitud y de pendientes fuertes, del orden de 50 a 70%, pero localmente llegan hasta el 100%. Los valles tienen forma de V cerrada, con fondo estrecho por el cual discurren quebradas de montaña sin depósitos aluviales, los afluentes de segundo orden corren casi siempre sobre afloramientos rocosos o lechos en bloques de roca.



**Foto 2.** a) Morfología y vista general de las cuencas abastecedoras del acueducto, b) Línea de conducción en la vertiente, con movimientos en masa por debajo de ella.

## Morfodinámica

La cuenca de la quebrada muestra una morfodinámica reciente a actual muy activa, la temporada invernal de 2010 definitivamente alteró de manera sustancial la severidad de los procesos morfodinámicos, en especial los movimientos en masa. El paisaje anterior a 2010 se caracterizaba por mostrar superficies redondeadas en casi toda su extensión, solamente en cercanías de la cabecera del corregimiento se pudieron observar cicatrices de movimientos en masa ocurridos en décadas anteriores. Lo anterior indica que la dinámica de los movimientos en masa relativamente baja en esta área y que las condiciones de lluvia de 2010 superaron ampliamente los registros históricos y posiblemente los de épocas para poder desencadenar la cantidad de movimientos en masa observados. Unas vertientes como las de ésta área y en este clima, pueden conservar las cicatrices por espacio de unos 300 años, a partir de los cuales se terminan de borrar los rasgos principales de una cicatriz de deslizamiento, tal como lo han evidenciado algunos trabajos en áreas vecinas (INGEOMINAS, 1992).



**Figura 2.** Localización del sistema de acueducto de Cestillal, los círculos azules representan movimientos en masa recientes, el rojo, el único subreciente de hace más de una década.





Los movimientos en masa que se relacionan con el sistema de acueducto son relativamente pequeños, del orden de 10x10 metros y sólo uno de ellos alcanza más 30 de ancho por 40 de longitud, ocurridos en vertientes empinadas, con pendientes entre 45 y 60° (100 a 140%), todos tienen en común su poco espesor, casi siempre de menos de tres metros, incluido el de mayor tamaño; todos muestran el plano de falla localizado en la discontinuidad entre suelo y roca, que equivale a la transición entre suelo C-IV y C-III, tal como se aprecia en la Foto 3 y en consecuencia se pueden clasificar como deslizamientos planares.

Se pudo observar también que casi la mitad de los movimientos en masa que se formaron en 2010 se encuentran en una fase de recuperación de su estabilidad, evidenciada por la colonización de líquenes sobre la superficie de roca-suelo expuesta

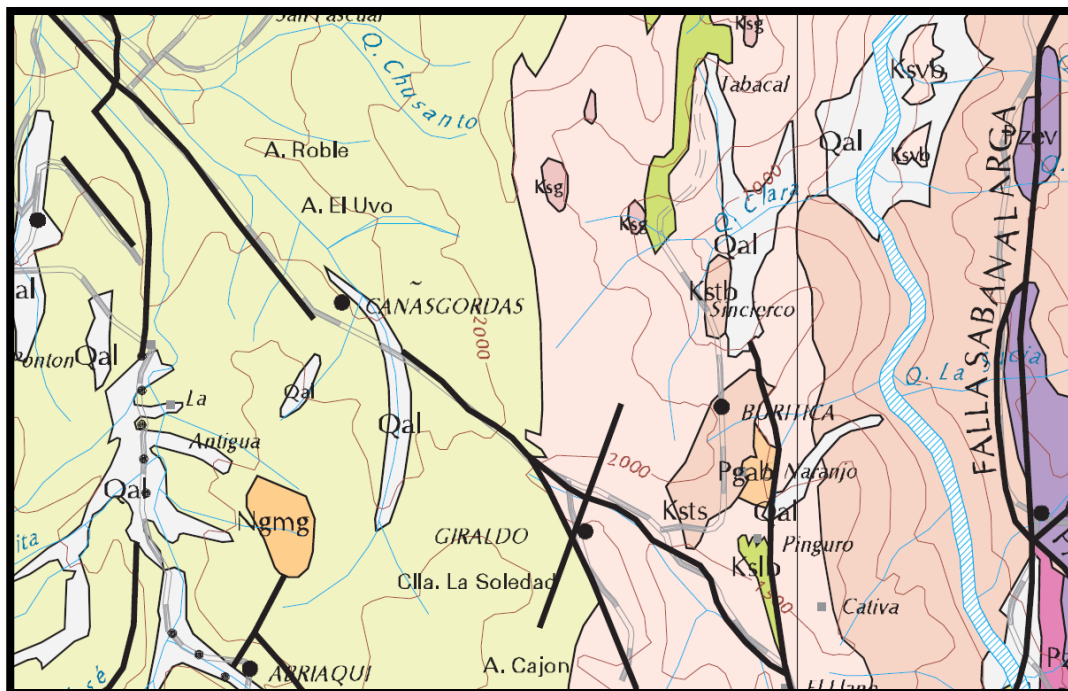


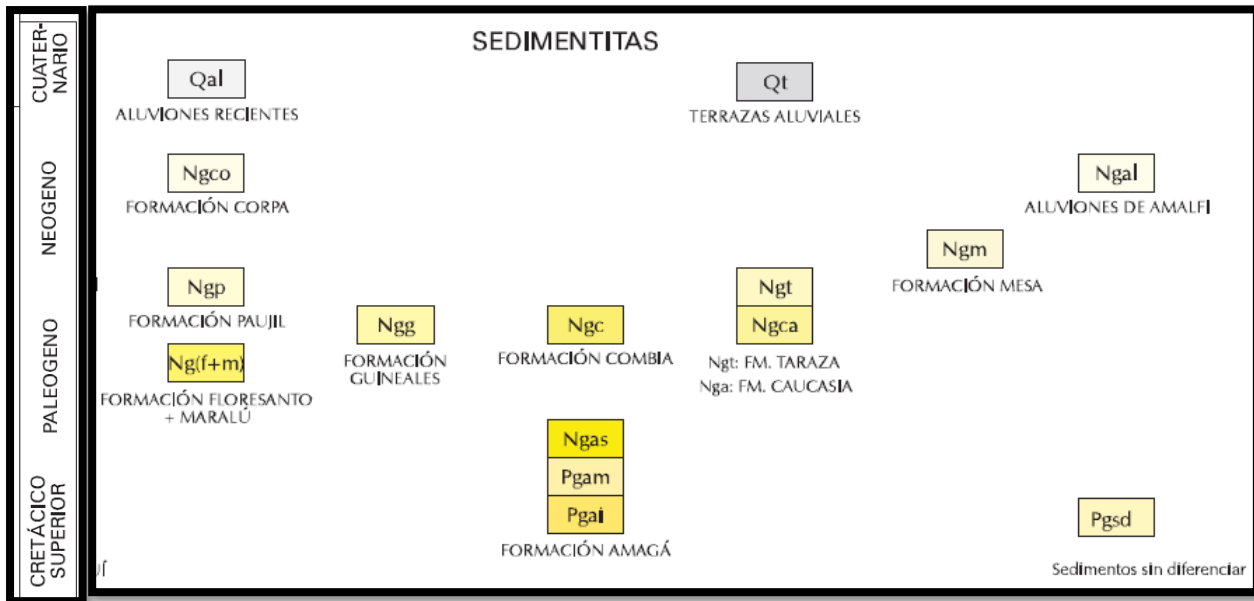
**Foto 3.** Movimiento en masa mayor de la conducción, se observa crecimiento de líquenes en algunas partes, indicio de estabilización.

Dentro de estas zonas inestables se encuentran al menos tres que se deben catalogar como cárcavas y todas se presentan es zonas por debajo de la actual conducción del acueducto; estas representan la mayor amenaza pues se encuentran activas y por tratarse de un fenómeno remontante, pueden desestabilizar la conducción en un futuro próximo, por lo que su tratamiento debe ser una labor prioritaria para ser ejecutada a corto plazo.

Cuando ocurre un movimiento en masa, éste deja una superficie desprovista de vegetación que queda expuesta a la lluvia y a la erosión superficial por escorrentía, lo que en ocasiones genera mayor inestabilidad hacia la parte alta de la zona ya deslizada. Por tratarse de un suelo residual de rocas sedimentarias marinas que tiene carácter ácido, se hace necesario neutralizar su acidez mediante la aspersión superficial (al “voleo”), de cal dolomítica y de esta manera en los meses siguientes se consolida una vegetación colonizadora que rápidamente contribuye a estabilizar la masa. En algunos casos se pueden sembrar trinchos en barreras vivas, en especial en las zonas más inestables para que sirvan de soporte a la tubería de conducción mientras se estabiliza el cuerpo principal en movimiento.

## 5.0. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS DE LA REGIÓN





**Figura 3.** Geología Regional en el Municipio de Cañasgordas.

## 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





## 7.0. SISMICIDAD

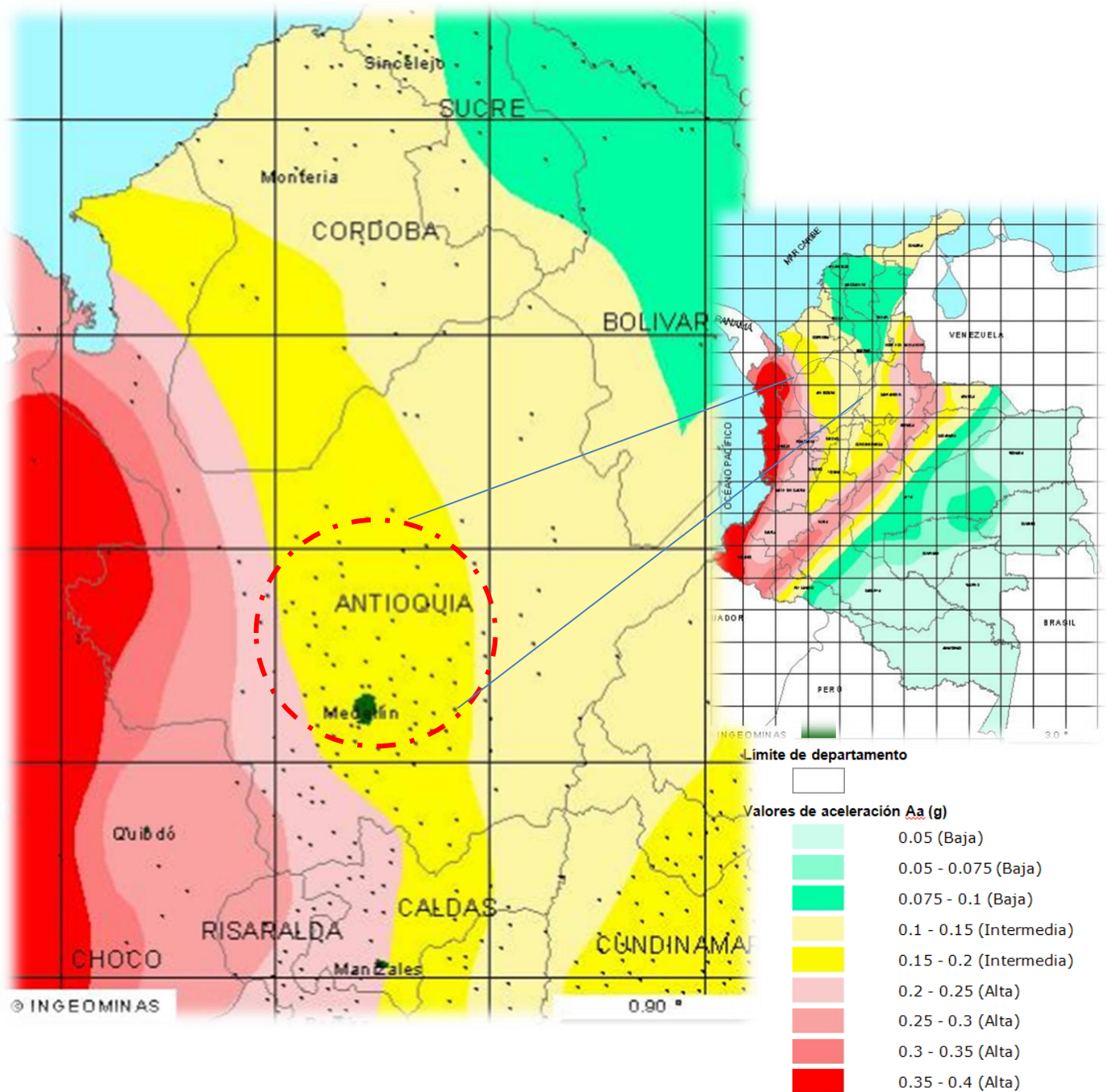


Figura 5. Sismicidad en la región.

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 3 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 3.** 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 Murrí, 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:

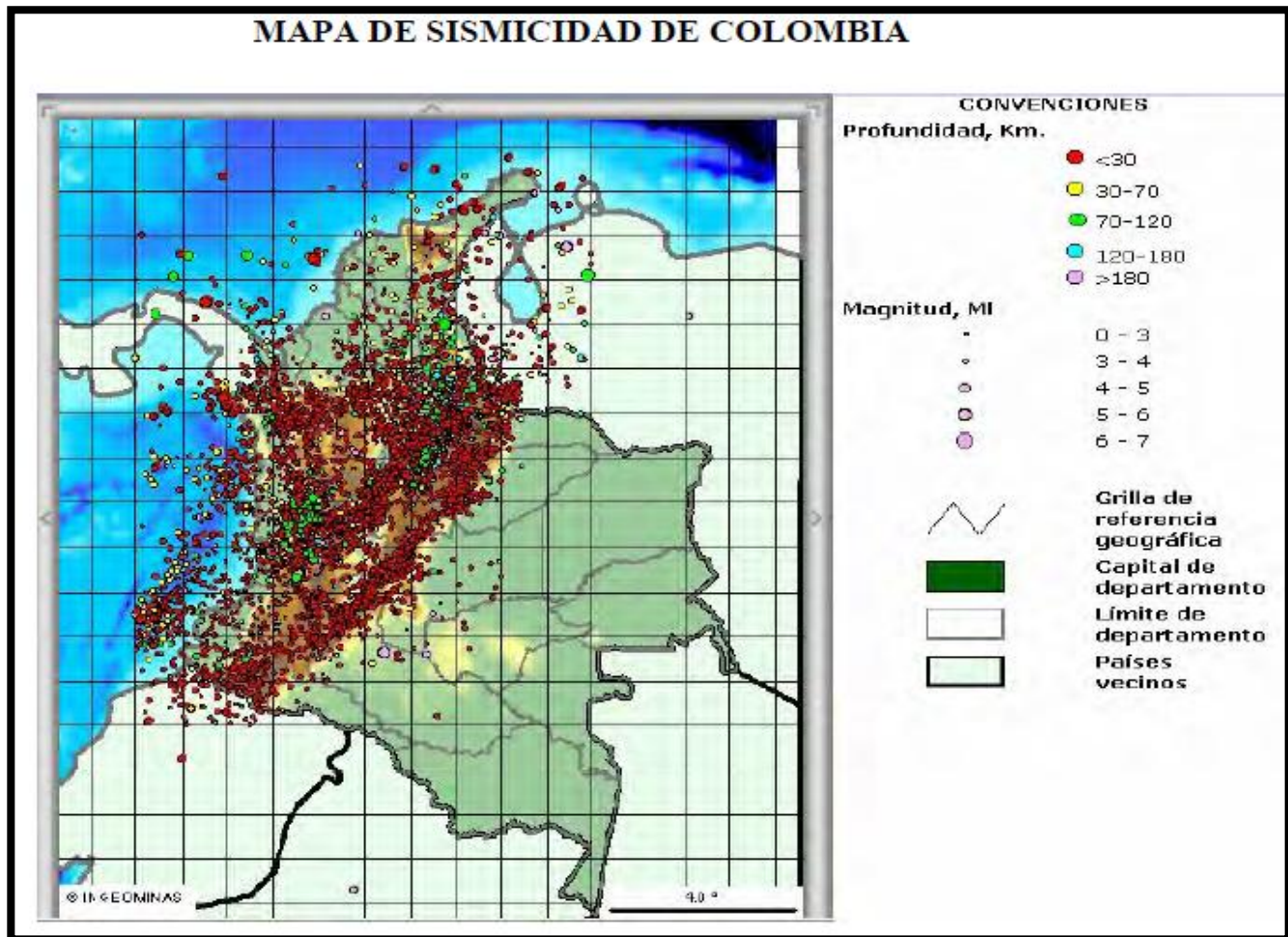
- ❖ La sismofuente del Viejo Caldas, a la cual se le asigna el evento del 23 de noviembre de 1979 (denominado sismo Mistrató);
- ❖ La zona de fallas Murindó-Murri-Mutatá, el cual generó los sismos del 17 y 18 de octubre de 1992,
- ❖ Las zonas de falla Cauca -Romeral.

**Tabla 4.** Principales sismos sentidos en el municipio de Cañasgordas.

Fecha aaaa/mm/dd	Hora UTC hh:mm:ss	Magnitud MI	Longitud Grados	Latitud Grados	Departamento	Municipio	Profundidad Km	Estado
06/03/2011	12:25:21	2.2	-75.989	6.891	ANTIOQUIA	CANASGORDAS	0	Revisado
06/04/2011	12:26:24	1.8	-76.013	6.874	ANTIOQUIA	CANASGORDAS	0	Revisado
13/04/2011	10:09:11	2.3	-75.995	6.884	ANTIOQUIA	CANASGORDAS	0	Revisado
21/10/2011	08:11:23	1.6	-76.046	6.857	ANTIOQUIA	CANASGORDAS	0.1	Revisado
05/12/2011	11:00:34	1.6	-76.066	6.833	ANTIOQUIA	CANASGORDAS	0	Revisado
30/01/2012	10:29:15	1.5	-76.081	6.77	ANTIOQUIA	CANASGORDAS	2	Revisado
12/02/2012	10:18:53	1.4	-75.998	6.868	ANTIOQUIA	CANASGORDAS	0	Revisado
27/07/2012	13:37:14	1.7	-75.984	6.872	ANTIOQUIA	CANASGORDAS	0	Revisado
08/12/2012	06:20:32	2.5	-76.045	6.861	ANTIOQUIA	CANASGORDAS	0	Revisado
21/12/2012	04:33:19	2	-76.069	6.851	ANTIOQUIA	CANASGORDAS	32.1	Revisado
17/02/2013	16:16:38	1.4	-75.953	6.853	ANTIOQUIA	CANASGORDAS	3.1	Revisado
08/03/2013	17:11:04	3.2	-76.039	6.804	ANTIOQUIA	CANASGORDAS	2	Revisado
16/03/2013	07:01:41	2.2	-75.958	6.861	ANTIOQUIA	CANASGORDAS	3.3	Revisado
18/12/2013	04:47:15	1.6	-76.086	6.799	ANTIOQUIA	CANASGORDAS	0	Revisado
03/05/2014	04:20:41	1.1	-76.02	6.866	ANTIOQUIA	CANASGORDAS	0	Revisado
03/05/2014	04:45:55	1.3	-76.041	6.838	ANTIOQUIA	CANASGORDAS	1.1	Revisado
18/05/2014	03:25:43	1	-76.067	6.845	ANTIOQUIA	CANASGORDAS	15.3	Revisado
01/06/2014	08:35:41	1.2	-75.967	6.845	ANTIOQUIA	CANASGORDAS	0.1	Revisado

Fuente: Red Sismológica Nacional de Colombia





**Figura 6.** 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 **Aa** y **Av**, se tiene:

- ☒ **Aa.: 0,20**      **Zona de amenaza sísmica Alta**
- ☒ **Av.: 0,25**

## 8.0. ANÁLISIS DEL SECTOR EXPLORADO

El sector de análisis se encuentra ubicado en el corregimiento de Cestillal, en la zona rural del municipio, se localizan dos afluentes de caudal menor que se conocen con los nombres locales de quebrada La Berrionda y La Berriondita, de las cuales se captan las aguas que surten el acueducto que abastece al corregimiento y a varias veredas vecinas. El acueducto consta de dos bocatomas localizadas cerca de la confluencia de los cauces, con un desarenador común, del cual parte una línea de conducción de más de 8 km. de longitud que termina en una planta de potabilización cercana al corregimiento, luego se entrega a los respectivos domicilios.

Para lograr el objetivo principal del estudio se visitó la zona y sus alrededores en compañía de los ingenieros del equipo técnico de Conhydra y el fontanero del sistema, quien conoce la problemática del acueducto y sus áreas vecinas.

Se evidenciaron varios sectores, cerca de los alineamientos tanto horizontales como verticales de la línea de conducción, donde se presentan movimientos de masa, reptaciones, deslizamientos, erosión en surcos, cárcavas, laminar, entre otros procesos, que se originan por encontrarse en zonas de vertiente y puntos de contacto del material residual con afloramientos superficiales de roca sana.

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.

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 identificaron varios puntos críticos generales, pues los procesos son repetitivos a lo largo de la línea de conducción, por su grado de afectación a la línea de conducción, es la zona a tratar; buscando así minimizar el impacto. En las siguientes imágenes se caracterizarán los diferentes casos encontrados:



**Foto 4.** Afloramiento rocoso, tubería con falta de empotramiento



**Foto 5.** Conformación de cárcavas en zona de vertiente por caracterización del suelo en flujo de escombros





**Foto 6.** Afloramiento rocoso, La tubería no presenta empotramiento

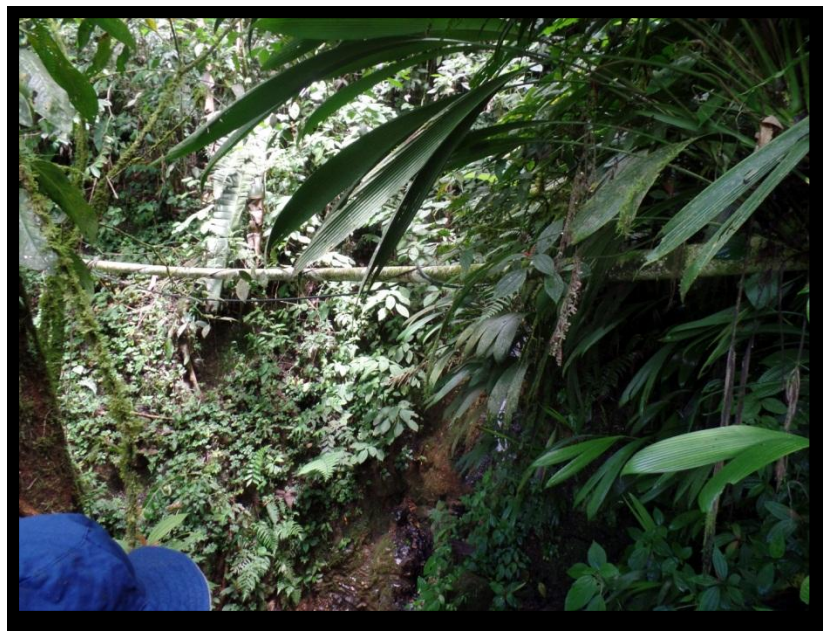


**Foto 7.** Tramo de Tubería deflectada por falta de apoyo.



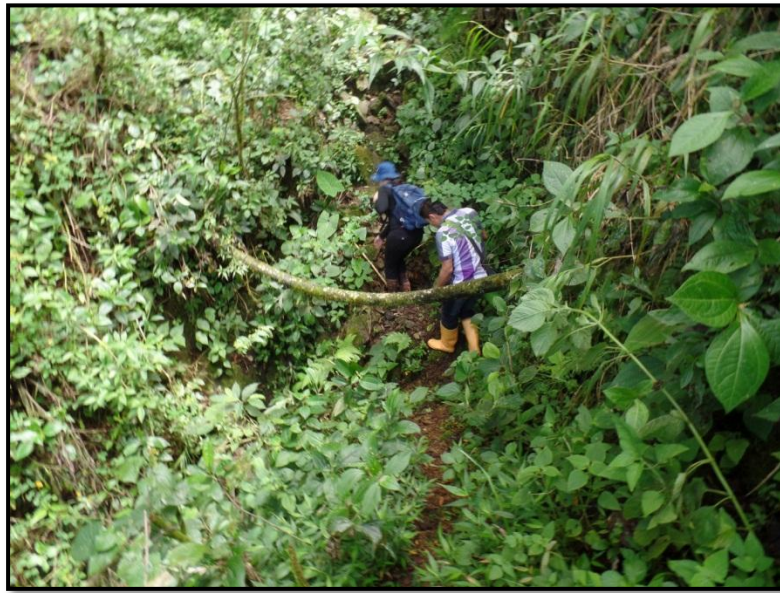


**Foto 8.** Tramo de Tubería Afectada por Deslizamiento y perdida de lineamiento horizontal

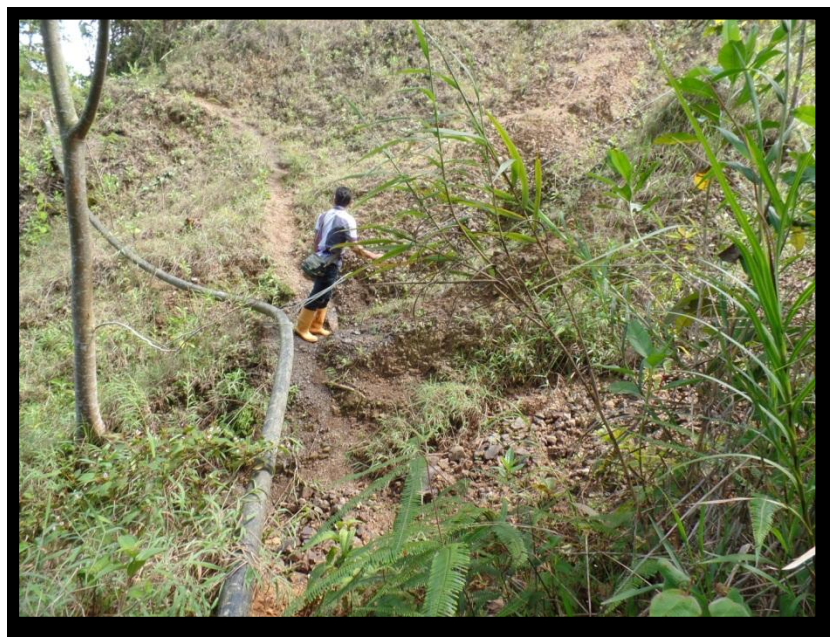


**Foto 9.** Tramo de Tubería deflectada por falta de apoyo.





**Foto 10 y 11.** Tramo de Tubería deflectada por falta de apoyo y pérdida de lineamiento horizontal







**Foto 12, 13 y 14.** Tramo de Tubería deflectada por falta de apoyo y pérdida de lineamiento horizontal y vertical

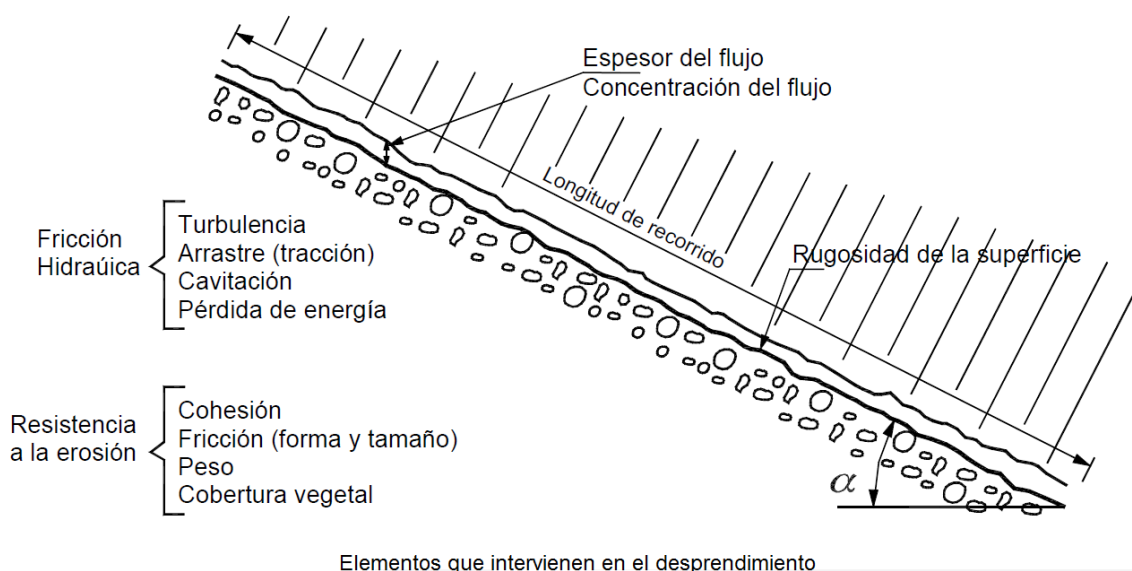
## **9.0. ANÁLISIS DE LOS PROCESOS EROSIVOS ENCONTRADOS EN LA ZONA**

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 el caso de la erosión producida por el agua, el proceso puede ser analizado iniciando por el desprendimiento de las partículas de suelo, debido al impacto de la gota de agua y al mismo tiempo ocurre el proceso de flujo superficial o escorrentía, la cual hace que las partículas removidas sean incorporadas a la corriente y transportadas talud abajo. Adicionalmente, las corrientes generan procesos de desprendimiento de partículas por acción de la fuerza del agua en movimiento. Los procesos son muy complejos y es común que varios procesos actúen conjuntamente.



**Figura 7.** Elementos que intervienen en el desprendimiento

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. En estos surcos la energía del agua en movimiento adquiere cada vez, una fuerza mayor capaz de desprender y transportar partículas de suelo.

La profundidad del canal va aumentando. Estos flujos adquieren velocidades cada vez mayores. La energía de este flujo concentrado empieza desprender partículas de suelo incorporándolas al flujo, convirtiendo estos microflujos concentrados en las rutas preferenciales de los sedimentos.

Al profundizarse y ampliarse los surcos de erosión se convierten en cárcavas, o varios pequeños surcos pueden unirse y crecer para formar una cárcava.



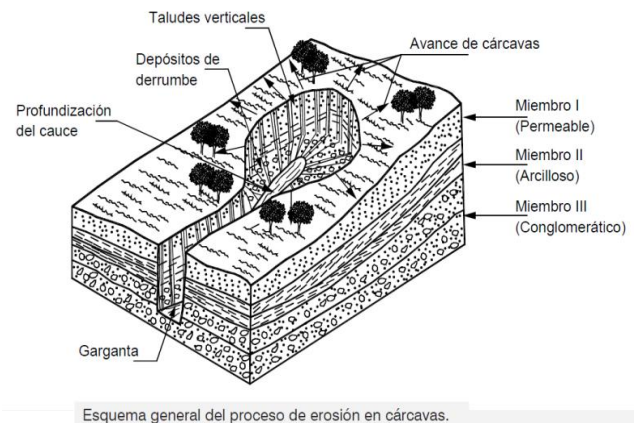
**Foto 15. Cárcavas**

Las áreas más susceptibles a erosión en cárcavas son aquellas de topografía de alta pendiente y mantos de suelo de gran espesor. Las mesetas semiplanas que recogen gran cantidad de aguas de esorrentía y a su vez tienen taludes de pendiente fuerte lateral presentan especial susceptibilidad a la formación de cárcavas, especialmente cárcavas anchas. Las áreas más afectadas por cárcavamientos son aquellas que tienen suelos dispersivos o altamente erosionables.

Los procesos más importantes en el crecimiento de una cárcava son:

1. Profundización del fondo de la cárcava. El fondo de la cárcava se va profundizando en forma continua o discontinua. El proceso continúa hasta que se logra una pendiente de equilibrio o aparece un manto profundo más resistente a la erosión.
2. Avance lateral. Al profundizarse el fondo de la cárcava esta se amplía por la inestabilidad geotécnica de los taludes laterales (Bache y Macaskill, 1984).
3. Erosión acelerada concentrada en los sitios de cambio topográfico en el fondo de la cárcava. En los cambios de pendiente la turbulencia y la fuerza concentrada de la corriente de agua acelera localmente el proceso de erosión y socavación. Los procesos de turbulencia pueden modelarse hidráulicamente en la forma como se indica en la; Sin embargo, es extraordinariamente difícil determinar para cada caso específico el mecanismo de turbulencia que va a actuar. El modelamiento hidráulico de cárcavas es muy complejo.
4. Avance de la cabeza de Cárcava. El avance más dramático es comúnmente el avance de la cárcava hacia arriba de la pendiente, aumentándose permanentemente la altura del escarpe vertical entre la corona y la cabeza. Entre más alto es el escarpe, la inestabilidad es mayor y la cárcava avanza a una mayor velocidad.

El afloramiento de agua en las paredes o pies de los taludes de la cárcava es un factor muy importante en el avance tanto lateral como aguas arriba en el proceso de erosión. Al encontrar corrientes de agua subterránea se aumenta a su vez el proceso de inestabilidad del escarpe y la rata de avance de la cárcava.



**Figura 8.** Proceso de erosión de cárcavas.

Ya que 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.

Todos estos diversos agentes, generan un alto grado de vulnerabilidad a los deslizamientos, como se evidencia en el registro fotográfico.



**Foto 16.** Deslizamientos.

Estos proceso de desprendimiento, transporte y depositación de partículas o masas pequeñas del suelo o roca, pueden formar grandes masas de terreno, los cuales si no son corregidos en la zona, dejan sin apoyo la estructura, por lo cual en algunos puntos se deberá redefinir los lineamientos horizontales de la conducción, con las respectivas estructuras de apoyo dándole un mayor nivel de estabilidad a la estructura.

Luego de identificar, analizar y describir, cada uno de los procesos evidenciados y los parámetros 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 cañasgordas que afecta la línea de conducción del corregimiento de Cestillal.

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

Controlar erosión en cárcavas es difícil. En muchos casos en los cuales se han construido estructuras de concreto, gaviones de piedra o madera, estos han sido socavados y arrastrados por la cárcava, o en otros no ha modificado las causas básicas de la erosión y el proceso ha continuado. Si se logra distribuir las corrientes y evitar las concentraciones de grandes flujos se disminuye en forma importante la posibilidad de ocurrencia de cárcavas.

Hasta ahora el método más efectivo para el control de cárcavas es la vegetación con estructuras que favorezcan su crecimiento. Puede ser necesario usar métodos mecánicos,

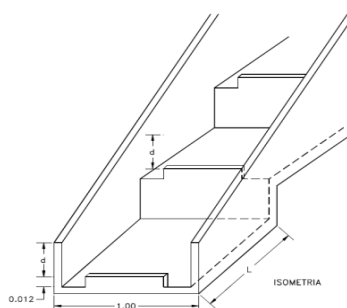


mallas, yute, fique, piedra o madera para controlar provisionalmente la erosión mientras se establece la vegetación. Generalmente, se emplea una combinación de árboles de raíz profunda con pastos y hierbas. Adicionalmente, debe controlarse las aguas mediante zanjas y canales.

La solución más recomendada, es la conformación de pendientes combinadas de acuerdo a las características del material, Se deben 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 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.

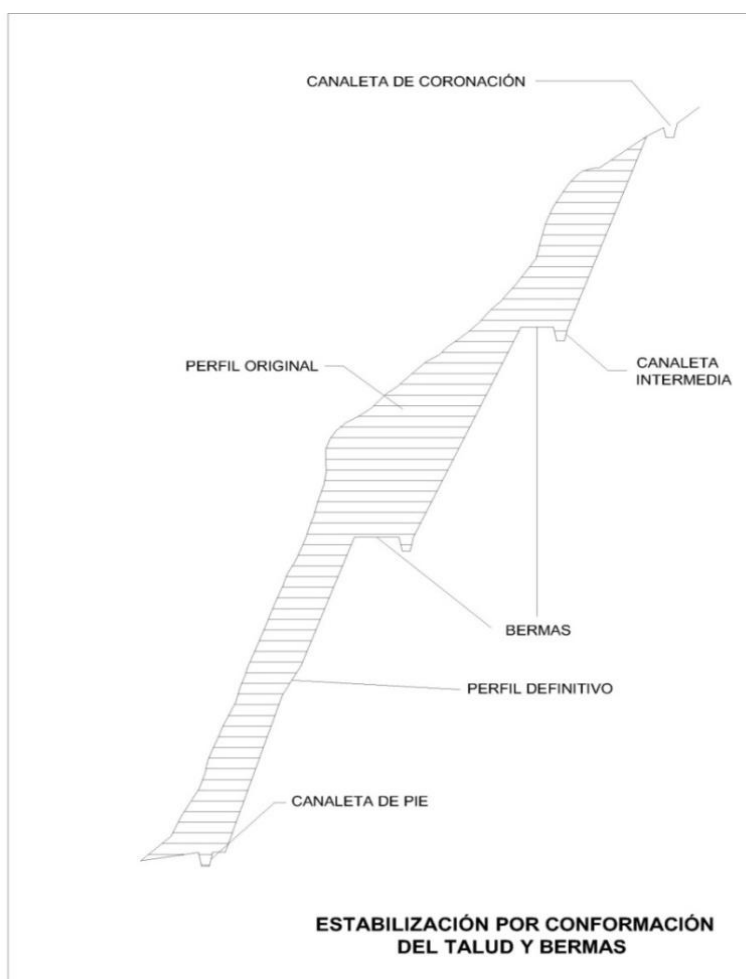


**Figura 9.** Disipadores<sup>1</sup>.

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





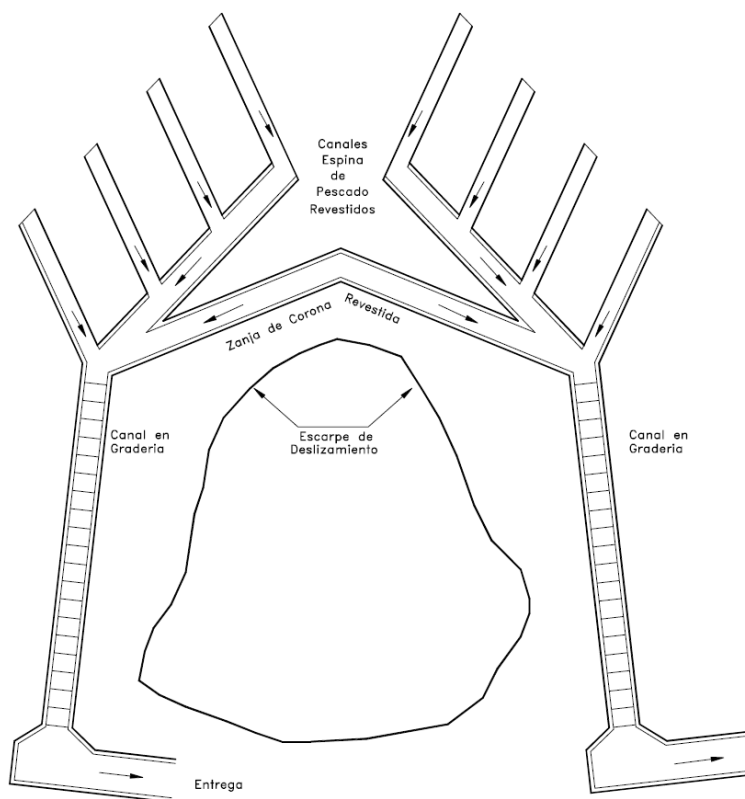


**Figura 10.** Estabilización por conformación de talud y bermas<sup>2</sup>.

Además en la parte alta del talud se deben construir, zanjales 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 zanjales de coronación sean totalmente impermeabilizadas. Se recomienda construir colectores en espina de pescado, los cuales conducen las aguas colectadas, por la vía más

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

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



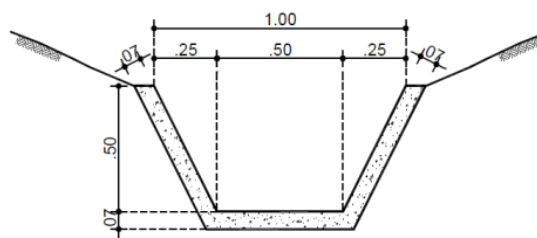
**Figura 11.** Esquema en planta de canales colectores espina de pescado<sup>3</sup>.

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.

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



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.

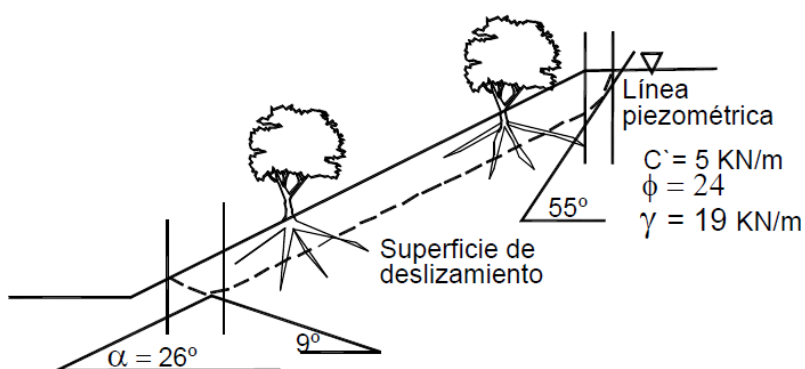


**Figura 12.** Detalle de cuneta<sup>4</sup>.

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.

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 13.** Raíces para reforzar la estructura del suelo<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> - <sup>5</sup> SUÁREZ DÍAZ, Jaime. Deslizamientos y estabilización de taludes en zonas tropicales. Colombia Universidad Industrial de Santander, UIS. 1998.





**Figura 14.** 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.

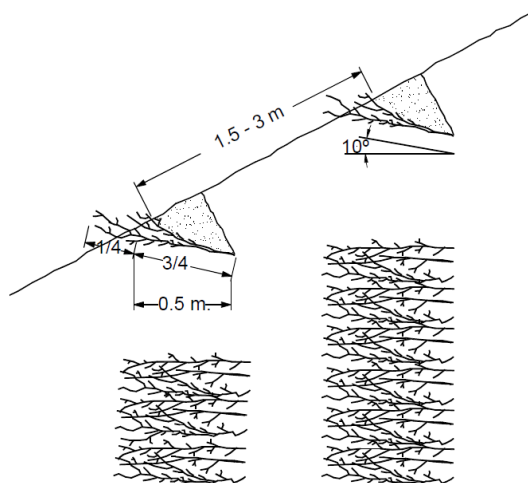
Como regla general, nunca debe plantarse una sola especie, sino una sucesión de variedades en tal forma que se recupere el sistema vegetativo original. Se debe considerar además el manejo apropiado de las técnicas de vegetación para ayudar en el proceso natural de sucesión. A continuación se describe 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 15.** Relleno de una cárcava utilizando estacas vivas y fajinas<sup>6</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.

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



Se recomienda seguir las siguientes instrucciones de instalación:

- 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 5.** Espaciamiento recomendado para fajinas vivas (Gray y Sotir, 1996)<sup>7</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.

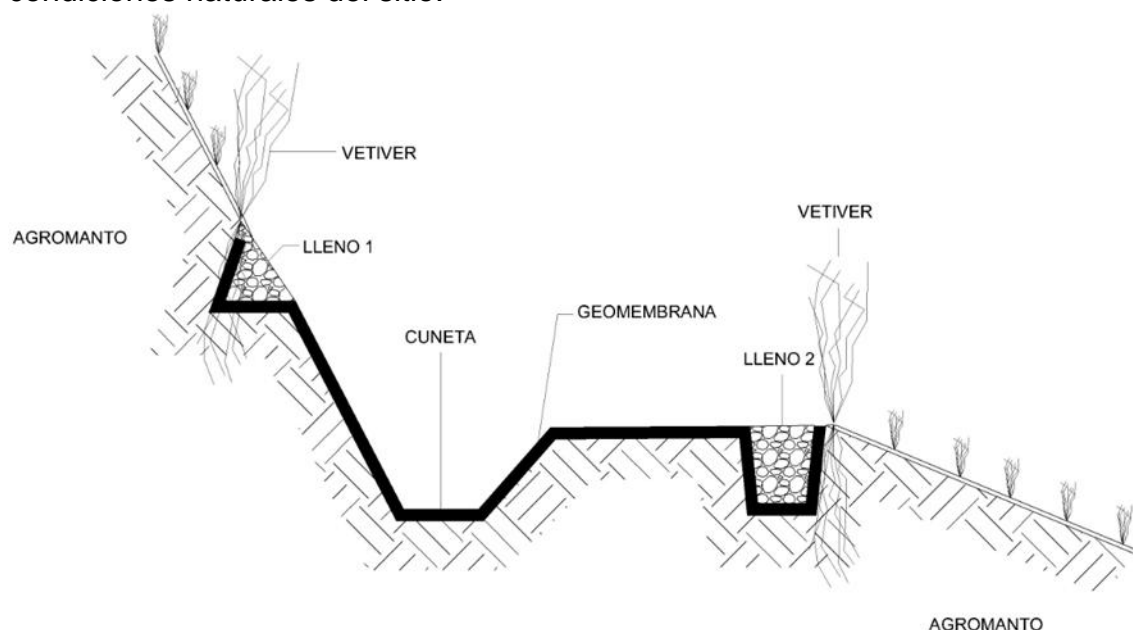
El principal uso de las fajinas es el control de erosión especialmente en zonas de cárcavas. Las fajinas a su vez forman unas líneas decorativas muy agradables al paisaje. Las fajinas generalmente, se hacen con hierbas y juncos adaptados a las condiciones climáticas del sitio.

<sup>7</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 15. 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 16.** Detalle recomendaciones.

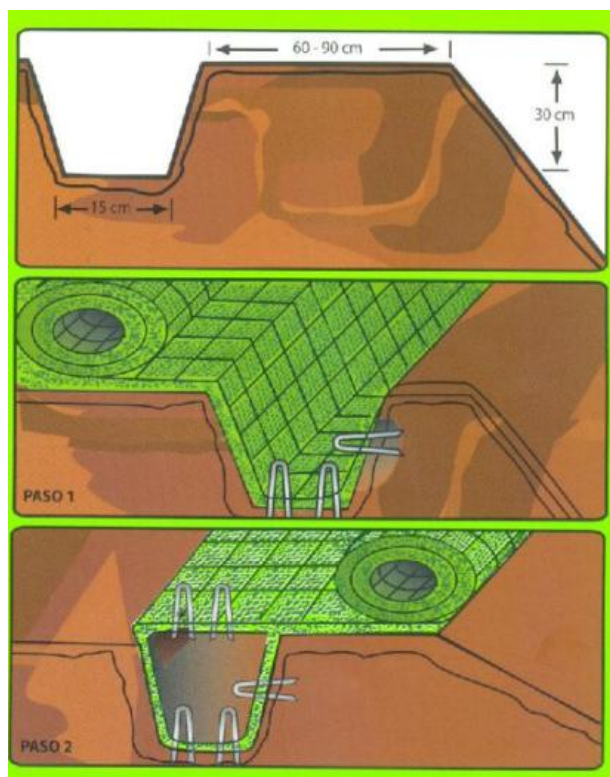
Para su instalación se debe preparar el sitio, siguiendo las recomendaciones presentadas a continuación:

- 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 17.** Detalle anclaje Agromanto<sup>8</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 6.** Pendiente del talud y frecuencia del anclaje<sup>9</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>8</sup> - <sup>9</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.

En zonas de gran pendiente de vertiente se recomienda utilizar las siguientes especies para garantizar el amarre por medio del sistema de raíces con las siguientes especies:

**Tabla 7.** Árboles utilizados para cercas vivas y estabilización de taludes (CDMB 1989)

Arboles utilizados para cercas vivas y estabilización de taludes (CDMB 1989)		
Nombre común	Nombre científico	Distancia de plantación
Aliso	<i>Alnus jorullensis</i>	2 a 3 m.
Anaco	<i>Erythrina poeppigiana</i>	2 a 3 m.
Aro	<i>Trichantera gigante</i>	1.5 a 3 m.
Arrayán	<i>Myrcia popayanensis</i>	1.5 a 3 m.
Balso	<i>Ochroma pyramidale</i>	2 a 3 m.
Búcaro	<i>Erythrina fusca</i>	2 a 3 m.
Casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i>	2 a 3 m.
Chachafruto	<i>Erythrina edulis</i>	1.5 a 3 m.
Ciprés	<i>Cupressus lusitanica</i>	2 a 3 m.
Eucalipto globulus	<i>Eucalyptus globulus</i>	2 a 3 m.
Eucalipto grandis	<i>Eucalyptus grandis</i>	2 a 3 m.
Guacimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	2 a 3 m.
Gualanday	<i>Jacaranda caucana</i>	2 a 3 m.
Guamo macheto	<i>Inga densiflora</i>	1.5 a 3 m.
Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i>	1.5 a 3 m.
Matarratón	<i>Gliricidia sepium</i>	1.5 a 3 m.
Melina	<i>Gmelina arborea</i>	2 a 3 m.
Nauno	<i>Pseudosamanea guachapele</i>	2 a 3 m.
Pino oocarpa	<i>Pinus oocarpa</i>	2 a 3 m.
Pino Pátula	<i>Pinus patula</i>	2 a 3 m.
Roble	<i>Quercus humboldtii</i>	2 a 3 m.
Sauce	<i>Salix humboldtiana</i>	2 a 3 m.
Urapán	<i>Fraxinus chinensis</i>	2 a 3 m.



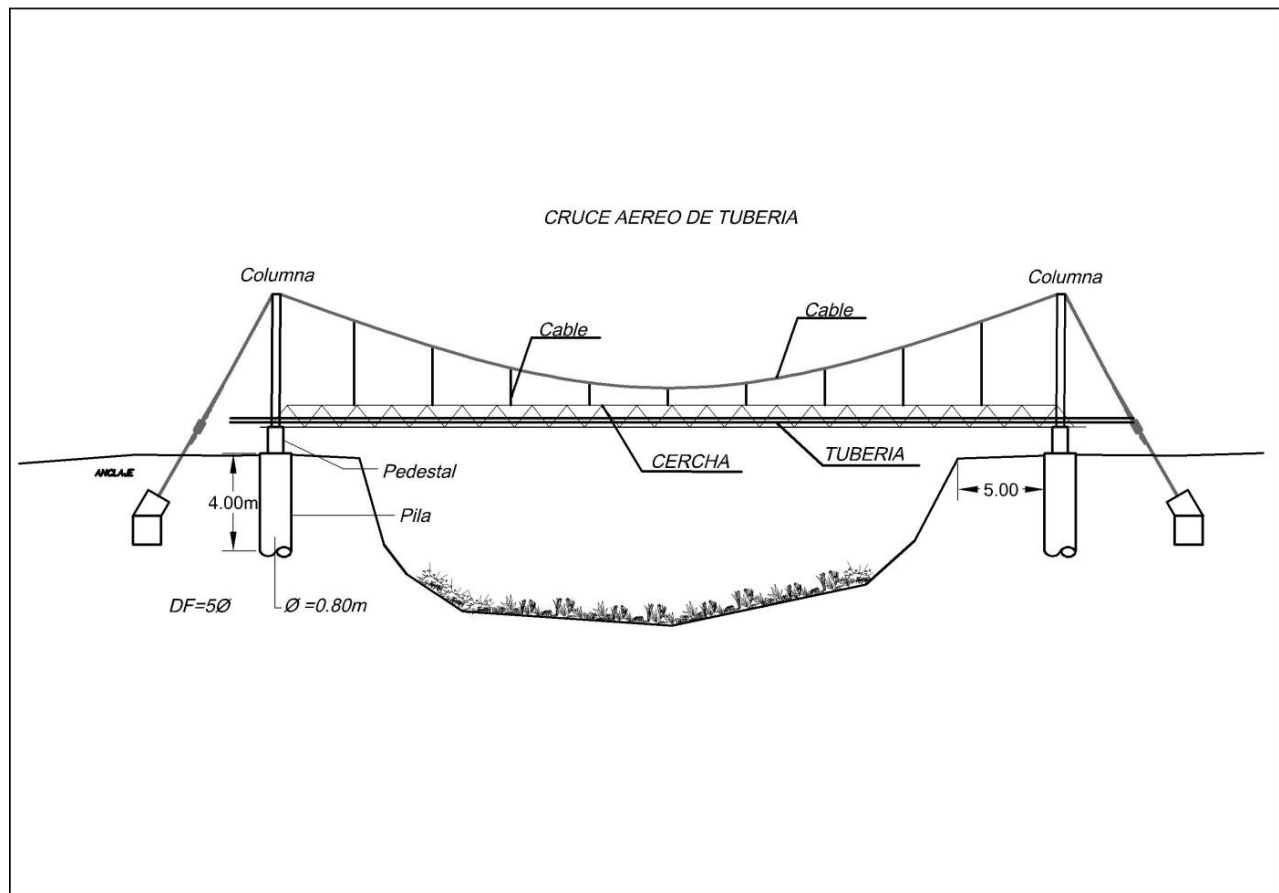
## 11.0. CONCLUSIONES

En general los puntos identificados en el recorrido realizado deja concluir que muchos de los proceso de afectación de las estructuras de conducción se han generado en zonas de vertiente, en discontinuidades, en puntos de contacto litológico y suelo residual, como también se ha observado una caracterización de flujos de escombros y de lodos, en combinación por la denudación del terreno que ocasiona que la línea de conducción de acueducto pierda soporte en las estructuras de apoyo inicial ocasionando desplomes y pérdida del lineamiento de la red.

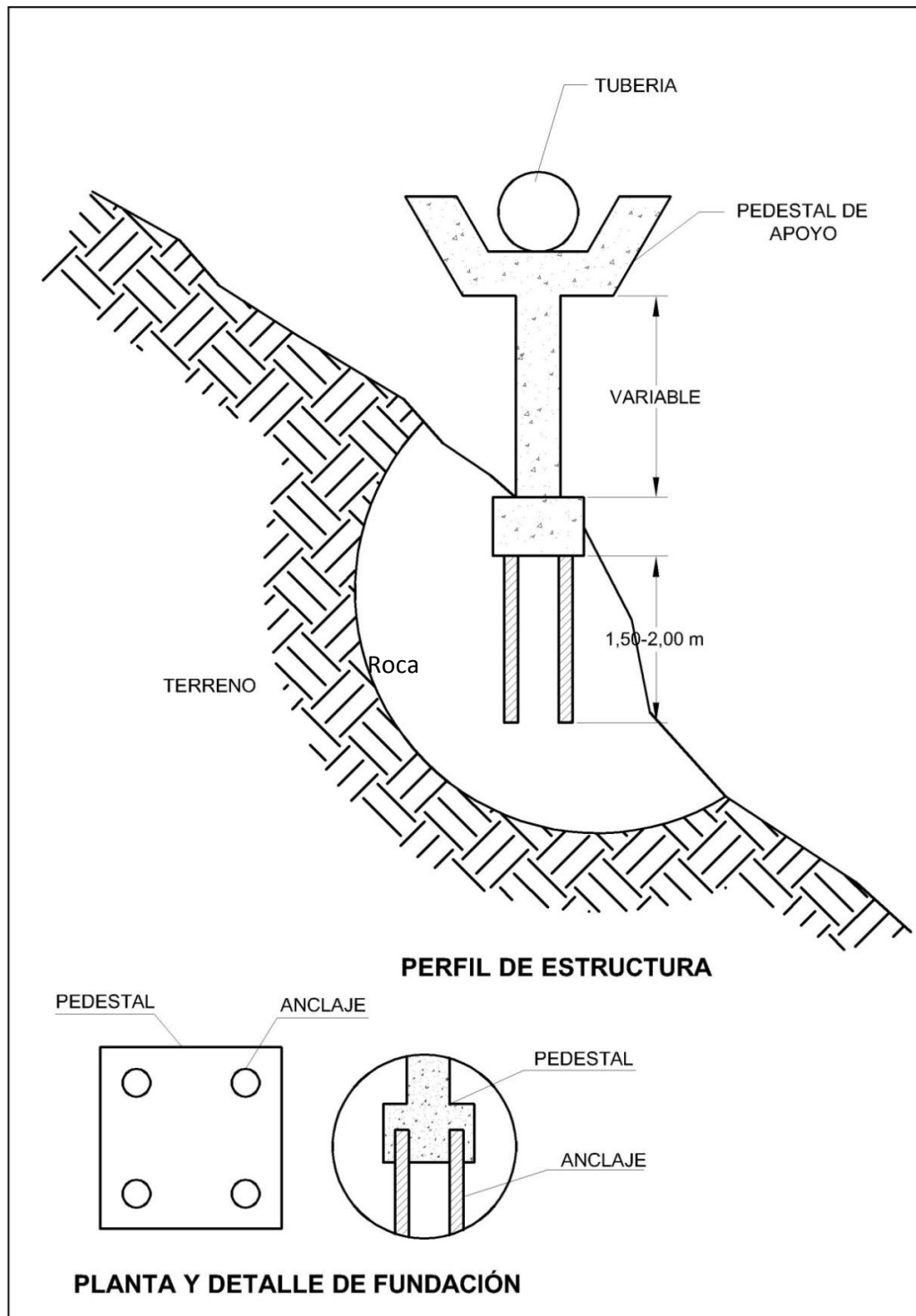
En los puntos críticos detectados, los cuales presentan similitud en los procesos erosivos, geomorfología y elementos detonantes, como son las agua de escorrentía e infiltración, que nos lleva a plantear un tipo de solución similar, presentando como variable las longitudes, pendientes y lineamiento de la conducción.

Encontrándose, que a través de la construcción de estructuras en viaducto, pendientes combinadas acompañadas de un efectivo sistema de evacuación de aguas, una correcta revegetación, se minimizaría la continuidad de los procesos erosivos.

El problema se enfoca en la falta de apoyo de la estructura de la conducción , y debido al problema de inestabilidad geomorfológica y geotécnica de algunos de los sectores, se plantea como posible solución, la construcción de un viaducto (para longitudes muy extensas) y apoyos con pedestales anclados a la roca o suelos muy densos, rígidos o roca blanda (para longitudes cortas y zonas de afloramiento rocoso)

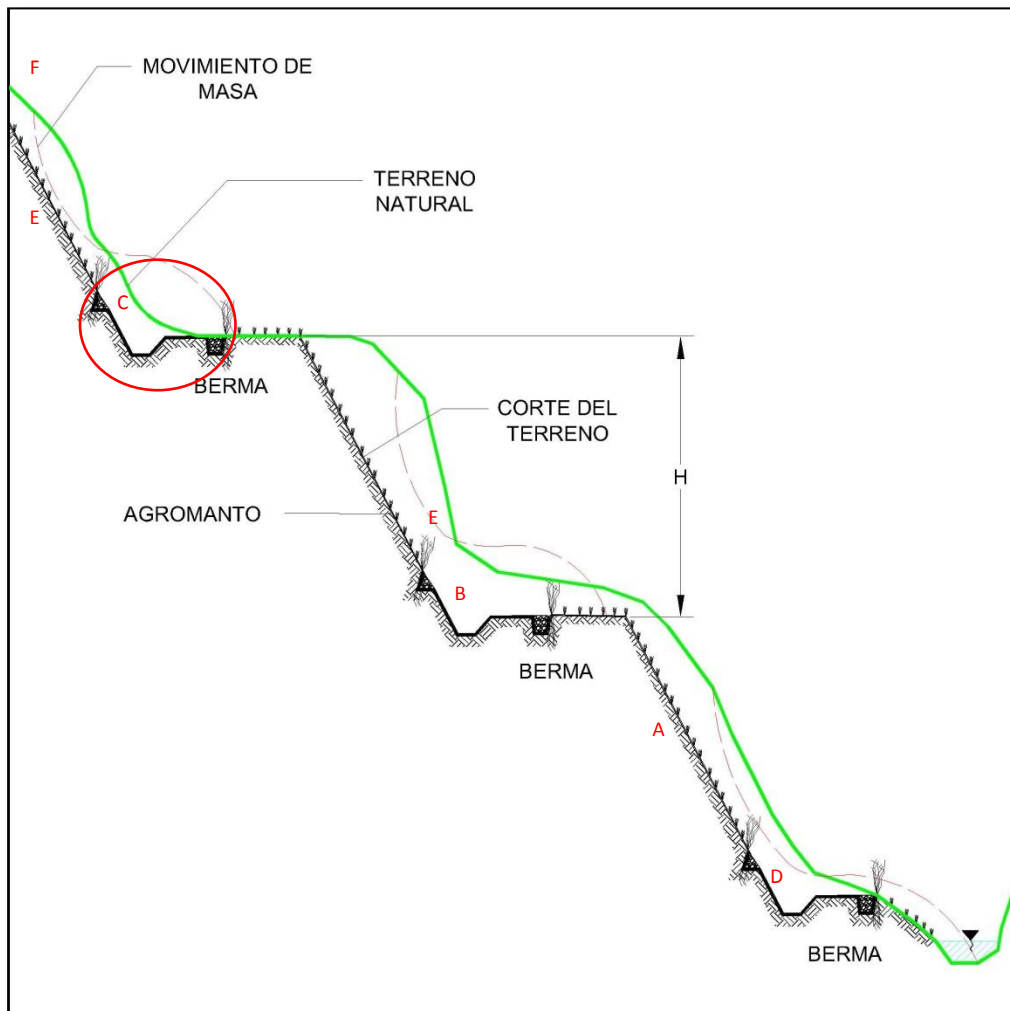


**Figura 18.** Cruce aéreo de tubería.



**Figura 19.** Planta y detalle de fundación.





**Figura 20.** Detalle explicación recomendaciones.



A. Pendiente sugerida según el tipo de material encontrado:

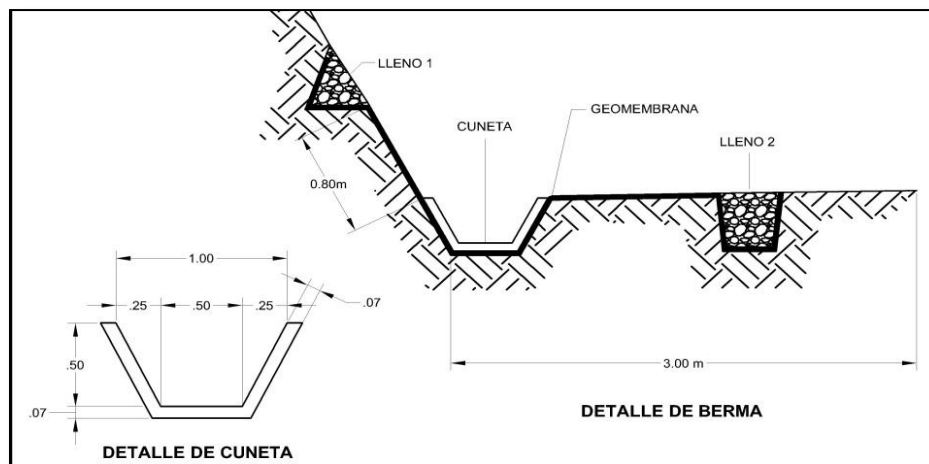
**Tabla 8.** Pendiente sugerida según el tipo de material.

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

B. 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.

C. Sección de Cuneta:



**Figura 21.** Detalle de berma y de cuneta.



D. La geomembrana recomendada es:

**GEOMEMBRANA LISA (POLIETILENO ULTRAFLEXIBLE DE DENSIDAD LINEAL LLDPE)**

**Tabla 9.** Propiedades geomembranas<sup>10</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/cm <sup>3</sup>	>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	m <sup>2</sup>	3155	2103	1577	1052

E. El agromanto recomendado es :

**Tabla 10.** Detalle Agromantos<sup>11</sup>

PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	3000 F-P	3200 FC-F	4600 FC-FP	PROPIEDADES MECÁNICAS	ECOMATRIX
Resistencia a la tensión	ASTM D4595	1.3 kN/m	1.8 kN/m	2.1 kN/m	Resistencia a la Tensión	ASTM D4595 4.0 kN/m
Elongación	ASTM D4595	22% Max	15% Max	18% Max	Elongación	ASTM D4595 10%
Rigidez	ASTM D1388	6 a 10 cm	8 a 12 cm	13 a 18 cm		
PROPIEDADES FÍSICAS	NORMA	3000 F-P	3200 FC-F	4600 FC-FP	PROPIEDADES FÍSICAS	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>	Tamaño de abertura	Medido 2 x 5 mm
Espesor	ASTM D5199	3.0 mm	3.2 mm	5.0 mm	Absorción de la humedad	ASTM D570 0.01%
Penetración de luz (% absorción)	Método ECTC	50 a 70%	50 a 70%	70 a 90%		
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		3000 F-P	3200 FC-F	4600 FC-FP	PRESENTACIÓN DE ROLLOS	ECOMATRIX
Longevidad funcional <sup>1</sup>	Observado	<12 meses	<24 meses	<36 meses	Tipo de polímero	Fabricante PP
Peso del rollo	Calculado	30 kg	32 kg	46 kg	Color	- Verde
Ancho	m	2	2	2	Ancho	Medido 3.8 m
Largo	m	50	50	50	Largo	Medido 300 m
Área	m <sup>2</sup>	100	100	100	Área	Calculado 1140 m <sup>2</sup>

<sup>10</sup> Especificaciones técnicas Geosistemas PAVCO.

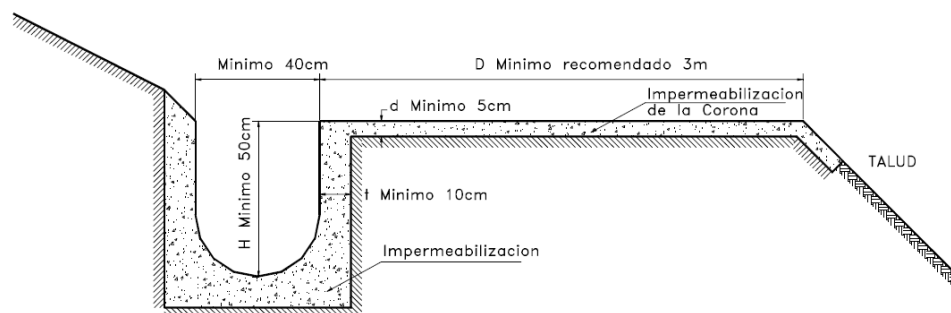
<sup>11</sup> Ficha técnica control de erosión PAVCO

## F. Espaciamiento para la siembra del vetiver

**Tabla 11.** Espaciamiento para la siembra del Vetiver<sup>12</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

## G. Detalle Ronda de Coronación

**Figura 22.** Detalle ronda de coronación<sup>13</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>12</sup> - <sup>13</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**

