

**PROPUESTA PARA MITIGAR LA EROSIÓN EN UN TALUD UBICADO EN LA
VEREDA BAJO RUITOQUE GARANTIZANDO SU ESTABILIDAD**

MARIA CAMILA ORTIZ CORREDOR

ANDRES ESLAVA DUMEZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA DE INGENIERÍAS

BUCARAMANGA

2017

**PROPUESTA PARA MITIGAR LA EROSIÓN EN UN TALUD UBICADO EN LA
VEREDA BAJO RUITOQUE GARANTIZANDO SU ESTABILIDAD**

MARIA CAMILA ORTIZ CORREDOR

ANDRES ESLAVA DUMEZ

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Civil**

Director:

MSc. JULIÁN ANDRÉS GALVIS FLÓREZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA DE INGENIERÍAS

BUCARAMANGA

2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

Jurado

Jurado

Jurado

DEDICATORIA

A Dios por acompañarme y guiarme a lo largo de mi vida, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo de felicidad.

A mis padres Gonzalo y Martha, por creer en mí y brindarme la oportunidad de tener una excelente educación, por enseñarme que en la vida con esfuerzo, trabajo y constancia se consiguen grandes cosas, especialmente a mi mamá por apoyarme en todo momento, por ser la promotora de mis sueños, por estar dispuesta a acompañarme siempre, por desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida.

A mis hermanos por ser parte importante de mi vida, a Gonzalo por ser ejemplo de tenacidad, trabajo y esfuerzo, Andres por ser un gran apoyo a lo largo de mi carrera, por compartir su tiempo y sus conocimientos.

A todos los que fueron mis compañeros y amigos, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento y a todas aquellas personas que durante estos cinco años estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se hiciera realidad.

Maria Camila Ortiz Corredor

A Dios por haberme dado vida, fuerza y valor para terminar con este propósito.

A mi madre Johana por brindarme permanentemente su apoyo, por contribuir a lograr mis metas y objetivos, por brindarme su ejemplo a ser perseverante y por impulsarme a conseguir todo lo que me propongo

A mi hermano Juan Pablo por estar en los momentos difíciles, por apoyarme cuando más lo he necesitado y darme aliento para seguir luchando por mis sueños.

A mis profesores y compañeros quienes me acompañaron en esta trayectoria de aprendizaje y conocimiento, dentro y fuera de la universidad.

Andres Eslava Dumez

AGRADECIMIENTOS

A Dios por protegernos durante todo el camino y darnos las fuerzas necesarias para superar las dificultades y los obstáculos, por bendecirnos para llegar hasta donde hemos llegado, por hacer realidad este sueño tan anhelado.

A nuestro director, al Ingeniero Julian Galvis, que sin su ayuda y conocimiento no hubiese sido posible realizar este proyecto, por compartir sus conocimientos con nosotros, porque a pesar de los obstáculos nos motivó a seguir, gracias por hacer parte de este sueño.

A la universidad por abrirnos las puertas para formarnos como ingenieros, a los docentes que hicieron parte de nuestra formación por brindarnos sus conocimientos.

A todas las personas que de forma directa e indirecta y aun sin saberlo, nos ayudaron con este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
1. INTRODUCCION	17
2. GENERALIDADES	18
2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
2.2. JUSTIFICACION	19
2.3. OBJETIVOS.....	20
2.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	20
2.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	20
2.4. ALCANCE	21
3. MARCO TEORICO	22
3.1. TALUD	22
3.2. PARTES DE UN TALUD	23
3.3. EROSION	24
3.4. TIPOS DE EROSIÓN	26
4. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	31
4.1. LOCALIZACIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO	31
4.2. CLIMA.....	32
4.3. VEGETACIÓN	34
4.4. CARACTERIZACIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO.	34
4.5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL LUGAR DE ESTUDIO.	38
4.6. CARACTERIZACIÓN TOPOGRÁFICA DEL LUGAR DE ESTUDIO.....	39
5. ENSAYOS DE LABORATORIO	40
6. RESULTADOS OBTENIDOS.....	41
6.1. HUMEDAD NATURAL	41
6.2. LIMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERBERG, GRANULOMETRIA Y CLASIFICACION.	42
6.3. PERMEABILIDAD DE CABEZA VARIABLE.....	84
6.4. CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO.....	87
6.5. PESO UNITARIO DEL SUELO	90
7. MODELACIÓN DEL TALUD	94
8. PLAN DE ACCIÓN GEOTÉCNICO SOBRE EL TALUD A CORTO PLAZO	103
8.1. ZANJAS DE CORONACION	103

8.1.1.	PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA ZANJA DE CORONACIÓN..	104
8.1.2.	COTIZACION ZANJA DE CORONACION	107
9.	METODOLOGIAS QUE AYUDAN AL CONTROL, PREVENCION Y/O MITIGACION DE LA EROSION EN TALUDES.	108
9.1.	GEOSINTETICOS.....	108
9.1.1.	GEOTEXTIL	108
9.1.2.	GEOMALLAS	110
9.1.3.	MANTOS DE REVEGETACIÓN	114
9.2.	BIOINGENIERIA	116
9.2.1.	LA VEGETACIÓN Y LA EROSIÓN.....	116
9.2.2.	ESTRUCTURA DE LAS RAICES	117
9.2.3.	RELACION DE AREA DE RAICES.....	118
9.2.4.	PASTOS.....	120
9.3.	HIDROSIEMBRA	127
9.3.1.	CRITERIOS PARA EL MANEJO DE LA HIDROSIEMBRA.....	129
9.3.2.	PROYECTOS DE HIDROSIEMBRA.....	129
9.4.	REVESTIMIENTO EN CONCRETO.....	132
9.4.1.	CONCRETO LANZADO	134
9.5.	CONTROL DE AGUAS SUPERFICIALES	140
9.5.1.	ZANJAS DE CORONACION:	140
10.	PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE LAS METODOLOGIAS	142
10.1.	GEOTEXTILES.....	142
10.1.1.	PROCESO DE INSTALACION GEOTEXTILES EN TALUDES ...	142
10.1.2.	COTIZACION GEOTEXTIL T1700 CON BARRAS ANCLADAS PARA EL CONTROL DE EROSION	144
10.2.	GEOMALLAS.....	145
10.2.1.	PROCESO DE INSTALACION GEOMALLAS EN TALUDES	145
10.2.2.	COTIZACION GEOMALLA PARA EL CONTROL DE EROSION	147
10.3.	MANTOS DE REVEGETACIÓN	148
10.3.1.	PROCESO DE INSTALACION DE MANTOS EN TALUDES.....	148
10.3.2.	COTIZACION MANTO DE REVEGETACIÓN PARA EL CONTROL DE EROSION	150
10.4.	HIDROSIEMBRA	151

10.4.1.	PROCESO DE INSTALACION DE LA HIDROSIEMBRA	151
10.4.2.	COTIZACION HIDROSIEMBRA PARA EL CONTROL DE EROSION 152	
10.5.	PASTO VETIVER	153
10.5.1.	PROCESO DE INSTALACION DEL PASTO VETIVER	153
10.5.2.	COTIZACION DE PASTO VETIVER	154
11.	RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES DE LAS DIFERENTES METODOLOGIAS INVESTIGADAS PARA EL CONTROL Y MITIGACION DE EROSION EN EL TALUD DE ESTUDIO	155
12.	PROPUESTA PARA LA MITIGACION DE LA EROSION EN EL TALUD DE ESTUDIO	157
12.1.	COTIZACION FINAL ZANJA DE CORONACION PARA EL MANEJO DE AGUAS SUPERFICIALES EN EL TALUD DE ESTUDIO.....	158
12.2.	COTIZACION FINAL MANTO PARA EL CONTROL DE EROSION CON REVEGETACION DE ESPECIE PLANTA VETIVER	159
12.3.	COSTOS FINALES PROPUESTA PARA LA MITIGACION DE LA EROSION EN EL TALUD DE ESTUDIO.....	159
12.4.	MODELACIÓN DEL TALUD CON OBRAS DE MITIGACION	161
13.	CONCLUSIONES.....	165
14.	BIBLIOGRAFÍA	166

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:Nomenclatura de taludes y laderas.	22
Figura 2:Partes generales de un talud o ladera.....	23
Figura 3:Nomenclatura de las diferentes partes que conforman un deslizamiento.	24
Figura 4:Mapa de degradación de suelos por Erosión.	26
Figura 5:Mecanismo de erosión por acción del viento.....	27
Figura 6:Mecanismo de erosión por acción de la lluvia.	27
Figura 7:Proceso de erosión laminar.....	28
Figura 8:Elementos que intervienen en la formación de surcos.	28
Figura 9:Procesos de formación de surcos y cárcavas.	29
Figura 10:Esquema general del proceso de erosión en cárcavas.	29
Figura 11:Resumen de la Clasificación de los Suelos por el Sistema SUCS.....	42
Figura 12:Resumen de la Clasificación de los Suelos por el Sistema SUCS.....	43
Figura 13:Carta de Plasticidad de Casagrande.....	47
Figura 14:Grafica Datos de Límite Líquido y Límite Plástico Ensayo 2.....	50
Figura 15:Carta de Plasticidad de Casagrande.....	51
Figura 16:Carta de Plasticidad de Casagrande.....	55
Figura 17:Carta de Plasticidad de Casagrande.....	59
Figura 18:Carta de Plasticidad de Casagrande.....	63
Figura 19:Carta de Plasticidad de Casagrande.....	67
Figura 20:Carta de Plasticidad de Casagrande.....	71
Figura 21:Carta de Plasticidad de Casagrande.....	75
Figura 22:Carta de Plasticidad de Casagrande.....	79
Figura 23:Carta de Plasticidad de Casagrande.....	83
Figura 24:Resultados de Corte Directo de la Muestra 3 (Limos de Alta Plasticidad con Arena (MH))	88
Figura 25:Resultados de Corte Directo de la Muestra 4 (Arenas Arcillosas (SC))	88
Figura 26:Resultados de Corte Directo de la Muestra 5 (Arenas Arcillosas (SC))	89
Figura 27:Precipitaciones del Año 2016.	91
Figura 28:Delimitación de las zonas para la modelacion del talud.....	94
Figura 29:Zona de amenaza sismica aplicable a edificaciones para la NSR-10. .	96
Figura 30:Zona 1 en Condiciones Estables.	98
Figura 31:Zona 1 en Condicion critica (Agua y Sismo).	98
Figura 32:Zona 2 en Condiciones Estables.	99
Figura 33:Zona 2 en Condicion critica (Agua y Sismo).	100
Figura 34:Zona 1 en Condicion Estables y con Parámetros Exagerados.	100
Figura 35:Zona 1 en Condicion critica (Agua y Sismo) y Parámetros Exagerados.	101
Figura 36:Zona 2 en Condicion Estables y con Parametros Exagerados.	101

Figura 37: Zona 2 en Condición crítica (Agua y Sismo) y Parametros Exagerados.	102
Figura 38: Zanjias de coronación para el control de aguas superficiales en el talud.	104
Figura 39: Geomalla Mono-Orientada o Uniaxial.	112
Figura 40: Geomalla Bi-orientada o Biaxial	112
Figura 41: Ejemplos típicos de Geomallas para refuerzo.	145
Figura 42: Extensión del Manto.	149
Figura 43: Traslapos y juntas.	149
Figura 44: Zona 1 en Condiciones Estables.	161
Figura 45: Zona 1 en Condición crítica (Agua y Sismo).	162
Figura 46: Zona 2 en Condiciones Estables.	162
Figura 47: Zona 2 en Condición crítica (Agua y Sismo).	163

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1:Ubicación Geografica del Lugar de Estudio.....	31
Imagen 2:Vía UPB al lugar de Estudio.	32
Imagen 3:Climograma Girón- Santander.....	33
Imagen 4:Localización del área de estudio en la Microzonificación sísmica.	38
Imagen 5:Nube LiDAR del talud de estudio.....	39
Imagen 7:Muestras tomadas y su clasificación.	92
Imagen 8:Muestras tomadas y su clasificación.	93
Imagen 26:Calibración nivel tipo “A”.....	105
Imagen 27:Excavación Zanja de Coronación.	105
Imagen 28:Dimensiones de una Zanja de Coronación.	106
Imagen 9:Tipos de fibras utilizadas en la construcción de geotextiles.....	110
Imagen 10:Uso de Mantos de Revegetalizacion en un Talud.....	115
Imagen 11:Formas generales de las raíces de la vegetación.	118
Imagen 12:Raíz típica de pastos.	118
Imagen 13:Efecto de la permeabilidad sobre la profundidad de las raíces.	120
Imagen 14:Pasto Vetiver	122
Imagen 15:Raices del Vetiver	124
Imagen 16:Señales de erosion laminar	125
Imagen 17:Perdida de la tierra vegetal.....	125
Imagen 18:Represa Santa Ana, municipio de Espinal, Tolima, obra de Estabilización y Control de Erosión.	127
Imagen 19:Proceso de Hidrosiembra.	128
Imagen 20:Ubicación de la Hidrosiembra en el Talud.	130
Imagen 21:Erosión en Taludes.	130
Imagen 22:Hidrosiembra en la via Bucaramanga- Cucuta	131
Imagen 23:Detalles de revestimiento en concreto.	132
Imagen 24:Ejemplo de revestimiento de concreto.....	133
Imagen 25:Detalle de Zanjas de coronación.	141
Imagen 29:Instalación del Geotextil en la UPB.....	143
Imagen 30:Instalación del Geotextil en la UPB.....	143
Imagen 31:Instalación de Geomallas.	146
Imagen 32:Diseño Preliminar de las Zanjas de Coronacion.	160
Imagen 33:Diseño Preliminar del talud con Manto de Revegetacion y Vetiver. .	160

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1:Erosión presente en el talud de estudio.	30
Fotografía 2:Delimitación de Zona de Trabajo.....	34
Fotografía 3:Talud de estudio.	35
Fotografía 4:Partes Generales del talud en estudio.	35
Fotografía 5:Delimitacion de los estratos de Suelo.	36
Fotografía 6:Delimitacion de los estratos de Suelo.	36
Fotografía 7:Lugar de extracción de muestras.	37
Fotografía 8:Muestras Obtenidas.	40

LISTA DE TABLAS

Tabla 1:Datos Históricos en el Tiempo del clima en Girón- Santander.	33
Tabla 2:Observaciones de las muestras.	37
Tabla 3:Ensayos Elaborados.	41
Tabla 4:Datos de Humedad Natural Ensayo 1.	41
Tabla 5:Datos de Humedad Natural Ensayo 2.	41
Tabla 6:Datos de Granulometría Ensayo 1.	44
Tabla 7:Datos de Límite Líquido y Límite Plástico Ensayo 1.	46
Tabla 8:Datos de Granulometría Ensayo 2.	48
Tabla 9:Datos de Límite Líquido y Límite Plástico Ensayo 2.	50
Tabla 10:Datos de Granulometría Ensayo 1.	52
Tabla 11:Datos de Límite Líquido y Límite Plástico Ensayo 1.	54
Tabla 12:Datos de Granulometría Ensayo 2.	56
Tabla 13:Datos de Límite Líquido y Límite Plástico Ensayo 2.	58
Tabla 14:Datos de Granulometría Ensayo 1.	60
Tabla 15:Datos de Límite Líquido y Límite Plástico Ensayo 1.	62
Tabla 16:Datos de Granulometría Ensayo 2.	64
Tabla 17:Datos de Límite Líquido y Límite Plástico Ensayo 2.	66
Tabla 18:Datos de Granulometría Ensayo 1.	68
Tabla 19:Datos de Límite Líquido y Límite Plástico Ensayo 1.	70
Tabla 20:Datos de Granulometría Ensayo 2.	72
Tabla 21:Datos de Límite Líquido y Límite Plástico Ensayo 2.	74
Tabla 22:Datos de Granulometría Ensayo 1.	76
Tabla 23:Datos de Límite Líquido y Límite Plástico Ensayo 1.	78
Tabla 24:Datos de Granulometría Ensayo 2.	80
Tabla 25:Datos de Límite Líquido y Límite Plástico Ensayo 2.	82
Tabla 26:Datos de Permeabilida de Cabeza Variable Ensayo 1.	84
Tabla 27:Datos de Permeabilida de Cabeza Variable Ensayo 1.	84
Tabla 28:Datos de Permeabilida de Cabeza Variable Ensayo 1.	85
Tabla 29:Datos de Permeabilida de Cabeza Variable Ensayo 2.	85
Tabla 30:Datos de Permeabilida de Cabeza Variable Ensayo 2.	85
Tabla 31:Datos de Permeabilida de Cabeza Variable Ensayo 2.	86
Tabla 32:Coeficientes de permeabilidad y capacidad de Infiltración.	86
Tabla 33:Resumen de Resultados de Permeabilidad.	87
Tabla 34:Resumen de resultados de Corte Directo	89
Tabla 35:Datos de Peso Unitario del Suelo.	90
Tabla 36:Resumen de Resultados de los Ensayos de Limites.	90
Tabla 37:Resumen de Resultados de los Ensayos de Granulometria.	90
Tabla 38:Resumen de Resultados de los Ensayos de Humedad Natural y Permeabilidad.	91
Tabla 39:Resultados de Corte Directo y Peso Unitario.	95
Tabla 40:Valores para las capitales de los Departamentos.	96
Tabla 41:Factores de seguridad minimos Basicos.	97

Tabla 42:APU de Zanja de Coronacion.	107
Tabla 43:Erosión relativa de acuerdo a la vegetacion.	117
Tabla 44:Variación de la Velocidad de erosión con la altura de los pastos.....	117
Tabla 45:Características de algunos pastos utilizados para el control de la erosión.	121
Tabla 46:Composicion de la hidrosiembra usada en el proyecto.....	131
Tabla 47:Comparacion entre los procedimientos de Mezcla Seca y Humeda para el concreto lanzado.....	135
Tabla 48:Limites Granulometricos de los agregados para concreto lanzado.	136
Tabla 49:APU De Geotextiles.	144
Tabla 50:APU De Geomallas.	147
Tabla 51:APU de Manto de Revegetación.	150
Tabla 52:APU de Hidrosiembra.....	152
Tabla 53:APU de Pasto Vetiver.....	154

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: PROPUESTA PARA MITIGAR LA EROSIÓN EN UN TALUD UBICADO EN LA VEREDA BAJO RUITOQUE GARANTIZANDO SU ESTABILIDAD

AUTOR(ES): MARIA CAMILA ORTIZ CORREDOR
ANDRES ESLAVA DUMEZ

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): MSc. JULIÁN ANDRÉS GALVIS FLÓREZ

RESUMEN

La intervención de los taludes genera problemas graves de erosión, al remover la vegetación para la construcción de las obras civiles o para realizar cortes en los taludes, la superficie del terreno queda expuesta al golpeo de las gotas de lluvia y produce fenómenos como son la erosión en surcos y en cárcavas los cuales son evidentes en el talud. En este trabajo de grado, se realizaron ensayos de caracterización geotécnica para establecer las características de los diferentes estratos que conforman el talud, lograr un mejor análisis del lugar de estudio y llegar a dar una propuesta que se ajuste a las condiciones del talud. Este trabajo de grado presenta un resumen de las diferentes metodologías aplicables para la erosión en un talud ubicado en un predio de la Vereda Bajo Ruitoque del Municipio de Girón- Santander, el documento muestra cada una de las alternativas existentes para controlar la erosión, la finalidad es seleccionar la que mejor se adapte a las exigencias del terreno y lograr hacer las recomendaciones pertinentes teniendo bases fundamentadas de cada una de las metodologías. Por último, se presenta la propuesta con el resumen de los aspectos más importantes para el mejoramiento del talud.

PALABRAS CLAVES:

Erosión, Talud, Estabilización, Propuesta.

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: PROPOSAL TO MITIGATE EROSION IN A CHALK
LOCATED IN THE RIVER BASIN UNDER RUITOQUE
GUARANTEEING ITS STABILITY

AUTHOR(S): MARIA CAMILA ORTIZ CORREDOR
ANDRES ESLAVA DUMEZ

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: MSc. JULIÁN ANDRÉS GALVIS FLÓREZ

ABSTRACT

The intervention of the slopes generates serious erosion problems, to the removal of vegetation for the construction of the civil works or for cuts on the slopes, the ground surface is exposed to raindrops beating and causes phenomena such as erosion furrows and gullies which are evident in the batter. In this degree work, geotechnical characterization tests were performed to determine the characteristics of the different layers that make up the slope, achieve a better analysis of the place of study and give a proposal that meets the conditions of the slope. This degree work presents a summary of the various applicable methodologies for erosion on a slope located in an area of the sidewalk under Ruitoque of municipality of Girón - Santander, document shows each of the existing alternatives to control erosion, the purpose is to select which best fits the demands of the terrain and make the relevant recommendations has informed each of the methodologies bases. Finally, presents the proposal with the summary of the most important aspects for the improvement of the slope.

KEYWORDS:

Erosion, slope, stabilization, proposals.

Vº Bº DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCION

“La erosión comprende el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales de suelo o roca por acción de la fuerza de un fluido en movimiento. La erosión puede ser generada tanto por el agua como por el viento.” [1]

En el estudio de los taludes, es necesario identificar y entender la clase de erosión, las causas y efecto con el fin de planificar la toma de muestras, la exploración del sitio del problema, los ensayos de laboratorio, realizar el diagnóstico y planear el tipo de solución. No entender el proceso y las causas del problema es dar una posible solución poco práctica y sensata. Se debe conocer la diferencia entre los procesos de erosión, con el fin de realizar las prácticas más apropiadas al momento de abordar un problema de origen geotécnico y plantear la mejor solución.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la condición actual de un talud ubicado en un predio de la vereda Bajo Ruitoque del municipio de Girón, Santander, en el que se evidencia un proceso de erosión debido a las inclemencias climáticas, y condiciones geotécnicas locales. Se realizará un análisis y recopilación de la información existente del lugar con el fin de estudiar las diferentes características y propiedades de los materiales que componen el talud.

Para tener una idea clara y específica de las características que componen los estratos de suelo presentes en el talud, se llevarán a cabo ensayos de laboratorio, con los resultados obtenidos se procederá a realizar la modelación en condiciones estables y condiciones críticas para establecer cuál de las metodologías es la mejor para controlar, prevenir y/o mitigar la erosión y lograr recomendar el plan de acción geotécnico que mejor se adapte a las condiciones del talud.

Este documento presenta una resumida pero contundente información sobre las metodologías aplicables para el talud en estudio y un documento que resume los aspectos más importantes para el mejoramiento del talud.

2. GENERALIDADES

2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Unas de las causas de la inestabilidad en los taludes es la erosión, debido a que se entiende como “la degradación de los suelos, los sedimentos, los fragmentos de roca y el paisaje, a través de distintos medios como el viento y el agua”. [1]

Este tema se considera de alto interés ya que está relacionado con la erosión que está presentando un Talud con pendiente alta ubicado, en la Vereda Bajo Ruitoque, dicho talud está siendo afectado debido a las inclemencias climáticas. Para entrar a dar posibles soluciones al problema se deben conocer las características y propiedades del talud en estudio, para esto se realizaron visitas de campo, recopilación de información, ensayos de laboratorio y análisis posteriores.

Se pretendió destacar los principales factores que intervienen en el proceso de erosión del talud y la descripción de las obras correctivas aplicadas como solución a la inestabilidad.

Es necesario realizar este estudio para brindar mejoras a las características del talud de estudio, calidad de vida a los habitantes de este sector, ya que en épocas de lluvia se pueden ocasionar problemas serios en el terreno y en las edificaciones de la zona debido a la presencia de una antena de Servicio ubicada sobre el talud.

2.2. JUSTIFICACION

Debido a los repentinos cambios climáticos que se presentan en la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana, hace que las condiciones de inestabilidad del talud progresen y se continúen agravando, el talud ha venido mostrando condiciones de inestabilidad tales como; erosión superficial, degradación de la capa vegetal y fisuramiento del suelo expuesto.

“La estabilización de taludes y el uso de muros de contención son soluciones que ayudan a salvar desniveles del terreno y a aprovechar de manera más eficiente su superficie, considerando que sobre ellos se construirán los diversos elementos que darán forma a las edificaciones u obras civiles” [2]. Recientemente se ha observado una serie de problemáticas causadas por desprendimiento de materiales, consecuencia de diferentes factores como la erosión del suelo, las sobrecargas de peso, inclemencias del clima (fuertes lluvias), excavaciones mal planeadas o simplemente por el ángulo natural del talud; para asegurar la estabilidad del talud es necesario contemplar las fallas más comunes que presentan y las medidas de prevención necesarias a tomar.

Razón que motivó a desarrollar un estudio claro y específico dirigido a dar una solución a las condiciones que se presentan y lograr realizar un manejo de estabilización y control de los problemas del talud que ayuden a mitigar la constante preocupación de la comunidad frente a la posibilidad que el talud falle, inquietud que aumenta debido a la presencia de una antena de servicio ubicada sobre este.

2.3. OBJETIVOS

2.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la condición actual de un talud el cual presenta erosión y proponer una metodología para garantizar la estabilidad del mismo.

2.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Análisis y recopilación de la información existente del sitio de estudio.
- Estudiar las características y propiedades de los materiales que componen el talud, así como su condición topográfica y geológica.
- Elaboración de ensayos tales como clasificación, humedad, plasticidad, permeabilidad, y corte directo en los laboratorios de la Universidad Pontificia Bolivariana. Seccional – Bucaramanga.
- Analizar los datos encontrados en el laboratorio estableciendo el comportamiento del terreno en el tiempo y la incidencia del clima en el talud.
- Búsqueda de las diferentes metodologías aplicables a la estabilización de taludes que ayuden al control, prevención y/o mitigación de la erosión que afecta al talud de estudio.
- Realizar la modelación del talud (empleando software de modelación 2D) en condiciones estables (actuales) y condiciones críticas para establecer cuáles serían los factores ambientales que afectarían intrínsecamente las propiedades de suelo que compone el talud.
- Recomendar un plan de acción geotécnico sobre el talud a corto plazo. Se darán recomendaciones a partir de la información recopilada del sitio y el resultado de los ensayos de laboratorio y posterior modelación.
- Generar un documento con la propuesta que resuma los aspectos más importantes para el mejoramiento del talud; presupuesto, metodología y diseños preliminares.

2.4. ALCANCE

En el desarrollo del proyecto se elaborará un estudio para el control y mitigación de la erosión del talud que se encuentra en la vereda (Ruitoque Bajo) por medio de la realización de ensayos (clasificación, humedad, plasticidad, permeabilidad, y corte directo) a las muestras tomadas en el terreno, con el fin de analizar los datos encontrados y establecer las características de los estratos que componen el talud.

Se estudiaron detalladamente las variables que intervienen para el adecuado desarrollo del proyecto, así mismo materiales, equipos, ensayos y metodologías.

Una vez determinadas las propiedades del talud, se presentan las metodologías que mejor se ajusten a las características del talud que ayuden a controlar y mitigar la erosión que sufre el talud.

La modelación del talud se desarrolló con el fin de establecer el grado de estabilidad que posee y construir un plan de acción que ayude a disminuir la erosión que vuelve inestable el talud.

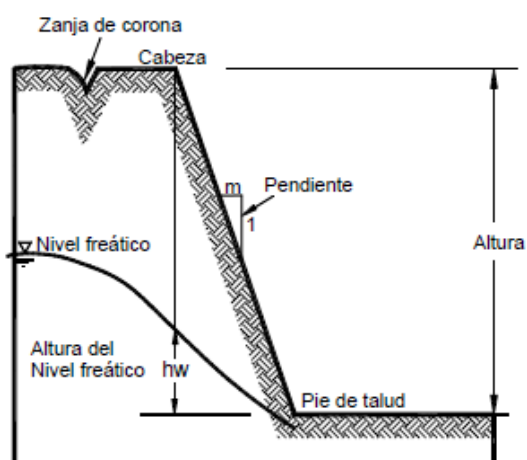
Este proyecto, permitirá conocer las causas del problema presente en el talud y lograr exponer una propuesta técnica y teórica que dé solución al mismo de manera que sea un sistema que elimine el riesgo presente en este talud. El propietario del terreno podrá tener conocimiento de la propuesta para que la pueda tomar y realizar.

3. MARCO TEORICO

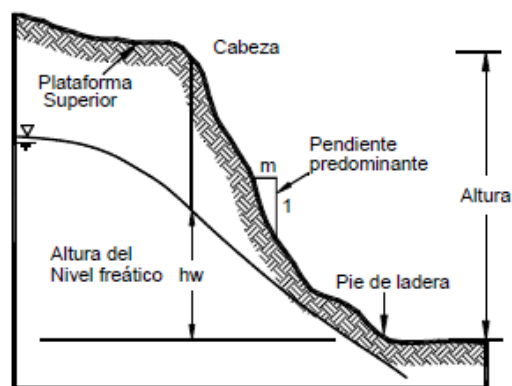
3.1. TALUD

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que presenta una pendiente o cambios significativos de altura. En la literatura técnica se define como “ladera” cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y “Talud” cuando se conformó artificialmente. Los taludes se pueden agrupar en tres categorías generales: los terraplenes, los cortes de ladera naturales y los muros de contención. Se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas. [3]

Figura 1: Nomenclatura de taludes y laderas.



a) Talud artificial (corte o relleno)



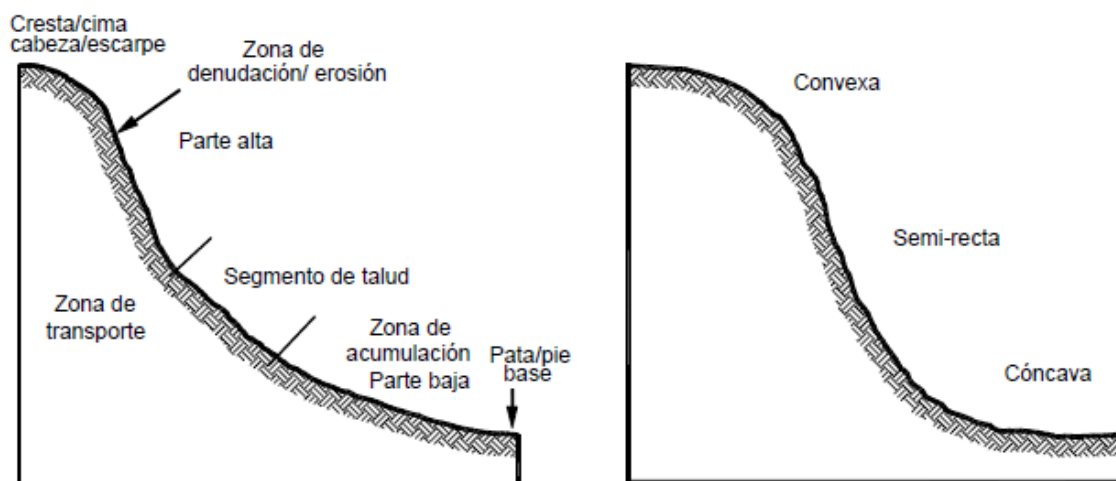
b) Ladera natural

Fuente: Jaime Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico

3.2. PARTES DE UN TALUD

Existen algunos términos para definir las partes de un talud. El talud comprende una parte alta o superior convexa con una cabeza, cima, cresta o escarpe, donde se presentan procesos de denudación o erosión; una parte intermedia semirecta y una parte baja o inferior cóncava con un pie, pata o base, en la cual ocurren principalmente procesos de depositación.

Figura 2:Partes generales de un talud o ladera.



Fuente: Jaime Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico

Pie, pata o base: el pie corresponde al sitio de cambio brusco de la pendiente en la parte inferior de talud o ladera. La forma del pie de una ladera es generalmente cóncava.

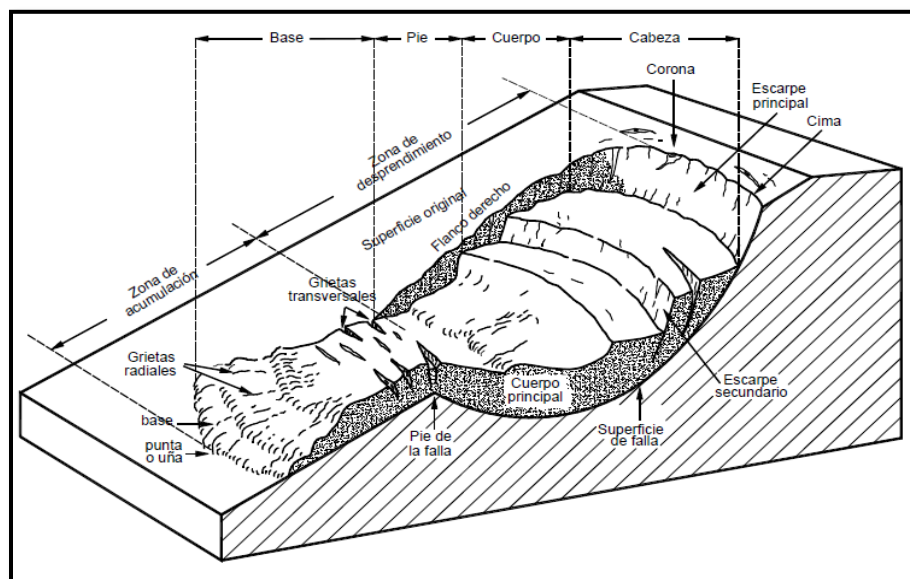
Cabeza, cresta, cima o escarpe: cabeza se refiere al sitio de cambio brusco de la pendiente en la parte superior de talud o ladera. Cuando la pendiente de este punto hacia abajo es semi-vertical o de alta pendiente, se le denomina “escarpe”. Los escarpes pueden coincidir con coronas de deslizamientos. La forma de la cabeza generalmente es convexa

Altura: es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, La cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza generalmente no son accidentes topográficos bien marcados.

Altura de nivel freático: es la distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua (la presión en el agua es igual a la presión atmosférica). La altura del nivel freático se acostumbra medirla debajo de la cabeza del talud.

Pendiente: es la medida de la inclinación de la superficie del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m: 1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical. [3]

Figura 3: Nomenclatura de las diferentes partes que conforman un deslizamiento.



Fuente: Jaime Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico

3.3. EROSION

La erosión de los suelos se define como la pérdida físico-mecánica del suelo, con afectación en sus funciones, la reducción de la capacidad productiva de los mismos. La erosión es un proceso natural; sin embargo, esta se califica como degradación cuando se presentan actividades antrópicas no sostenibles que aceleran, intensifican y magnifican el proceso.

La degradación de suelo por erosión se refiere a “la pérdida de la capa superficial de la corteza terrestre por acción del agua y/o del viento, que es mediada por el ser humano, y trae consecuencias ambientales, sociales, económicas y culturales” [4]

En general, existen dos tipos de erosión: la hídrica y la eólica. La erosión hídrica es causada por la acción del agua (lluvia, ríos y mares), en las zonas de ladera, cuando el suelo está desnudo (sin cobertura vegetal) hecho que se hace visible en el talud de estudio. Y en este caso las gotas de lluvia o el riego, ayudadas por la fuerza gravitacional, arrastran las partículas formando zanjas o cárcavas haciendo un aporte a la inestabilidad del talud, e incluso causando movimientos en masa en los cuales se desplaza un gran volumen de suelo. Por otra parte, la erosión eólica es causada por el viento que levanta y transporta las partículas del suelo, produciendo acumulaciones (dunas o médanos) y torbellinos de polvo.

En este sentido, no solamente se erosionan los suelos, sino con ellos se pierden los nutrientes, la materia orgánica, la retención de humedad, la profundidad de los suelos, se disminuye la productividad, lo cual conlleva a la pobreza, la violencia y el desarraigo de la tierra, como se evidencia en el talud de estudio ya que la poca vegetación y la acción del agua han ocasionado la aparición de zanjas y cárcavas que con el paso del tiempo se desarrollan de manera considerable.

La degradación de suelos por erosión igualmente está asociada a la pérdida de estabilidad de las laderas y taludes, lo cual agrava o desencadena algunas amenazas como los movimientos en masa y los flujos torrenciales.

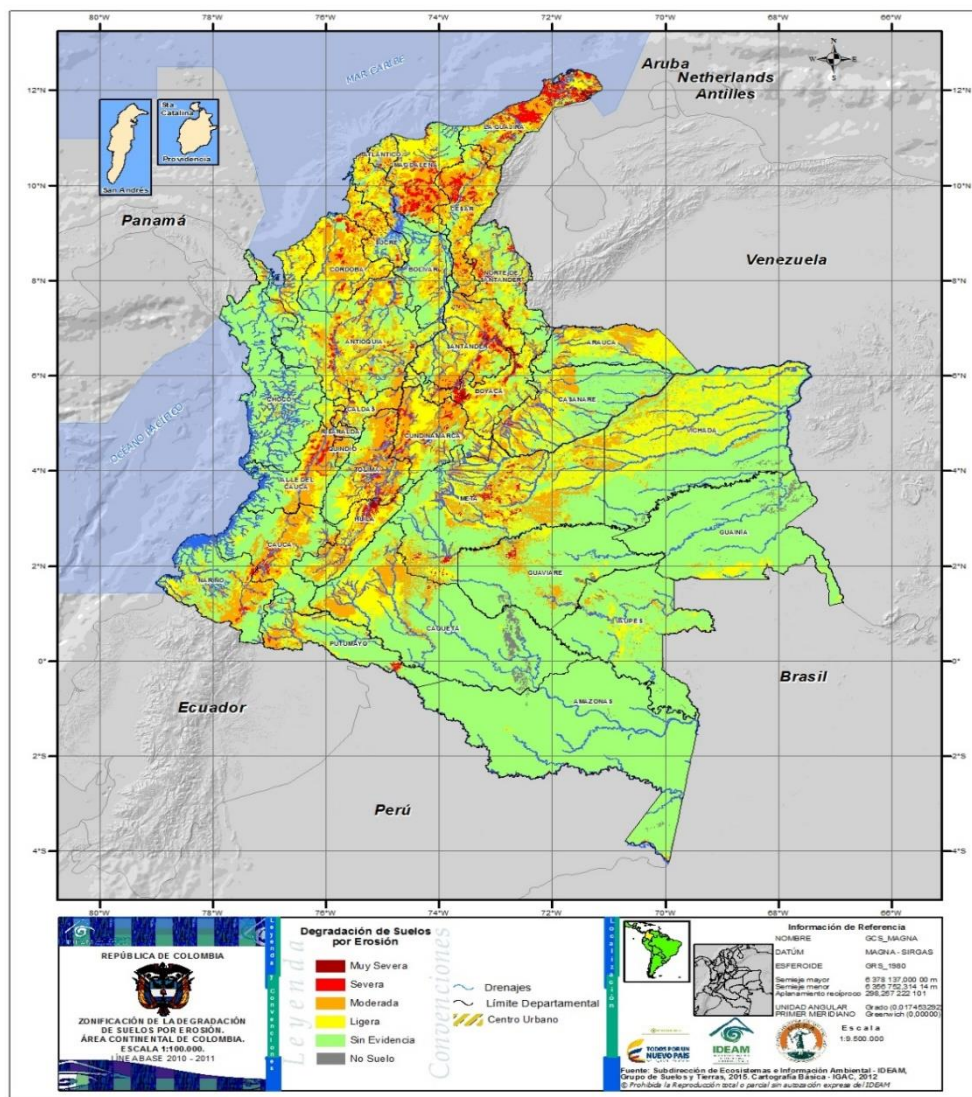
El grado de erosión se ha clasificado de acuerdo con la intensidad del proceso en términos de severidad y a la magnitud o superficie afectada por el mismo, en cinco categorías: sin evidencia (no hay evidencia de degradación por erosión), ligera, moderada, severa y muy severa.

Teniendo en cuenta los parámetros establecidos para la clasificación de severidad en el texto que se referencia en este fragmento del documento, el talud en estudio está ubicado dentro de la zona frontera de la categoría moderada y categoría severa debido a la severidad y magnitud de la erosión que presenta el talud

El área degradada por erosión en Colombia es de 45.377.070 ha (40% de la superficie continental de Colombia), de las cuales el 20% se encuentran en un grado de erosión ligera, el 17% en grado de erosión moderada y el 3% en grado de erosión severa y muy severa

Los departamentos que presentan las mayores áreas erosionadas en grado severo y muy severo son La Guajira, Magdalena, Cesar, Santander y Meta. [5]

Figura 4: Mapa de degradación de suelos por Erosión.



Fuente: Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC)

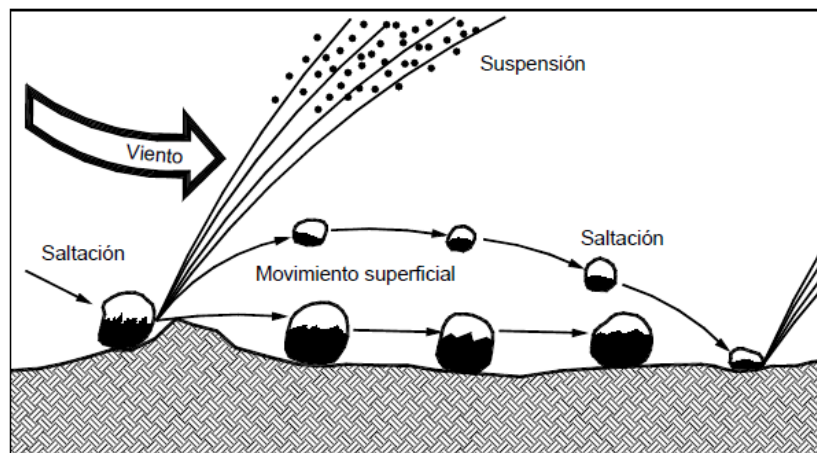
3.4. TIPOS DE EROSIÓN

Se conocen varios tipos de erosión así:

- **Erosión por el viento**

El movimiento del viento ejerce fuerzas de fricción y levantamiento sobre las partículas de suelo, desprendiéndolas transportándolas y depositándolas.

Figura 5: Mecanismo de erosión por acción del viento.

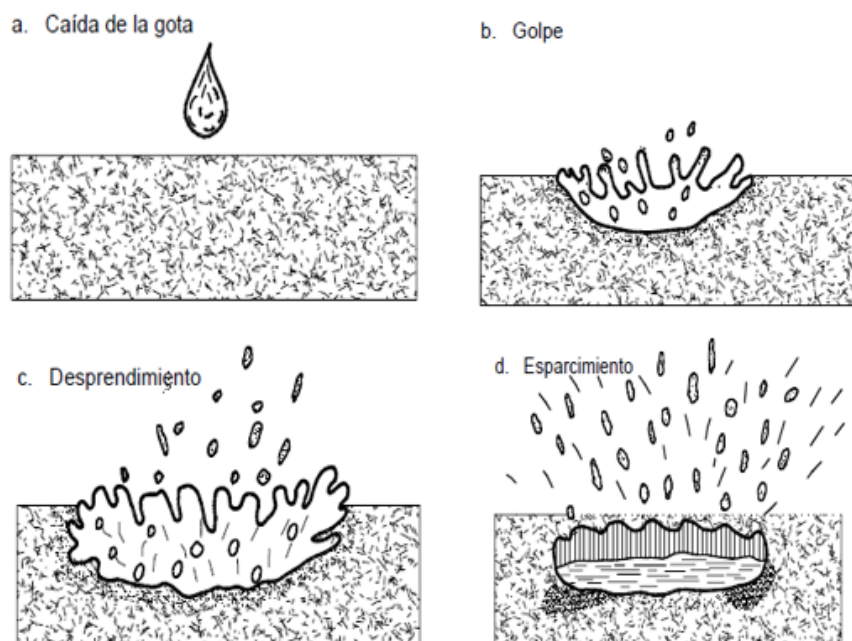


Fuente: Jaime Suarez, Control de Erosión

- **Erosión por gotas de lluvia**

Cuando las gotas de agua impactan el suelo desnudo pueden soltar y mover las partículas a distancias realmente sorprendentes.

Figura 6: Mecanismo de erosión por acción de la lluvia.

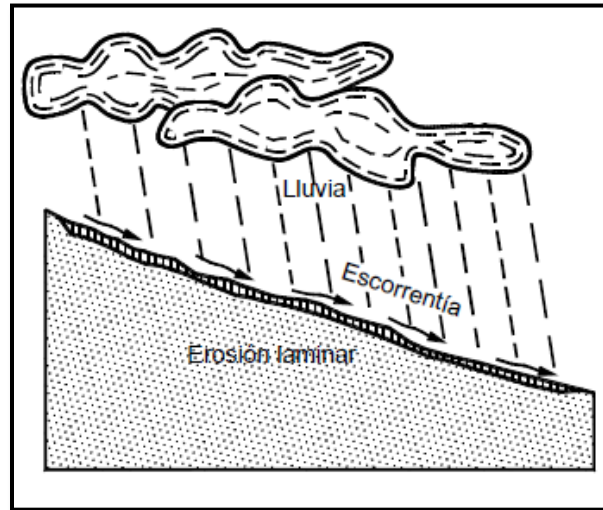


Fuente: Jaime Suarez, Control de Erosión

- **Erosión laminar**

Las corrientes superficiales de agua pueden producir el desprendimiento de las capas más superficiales de suelo en un sistema de erosión por capas que se profundizan.

Figura 7:Proceso de erosión laminar.

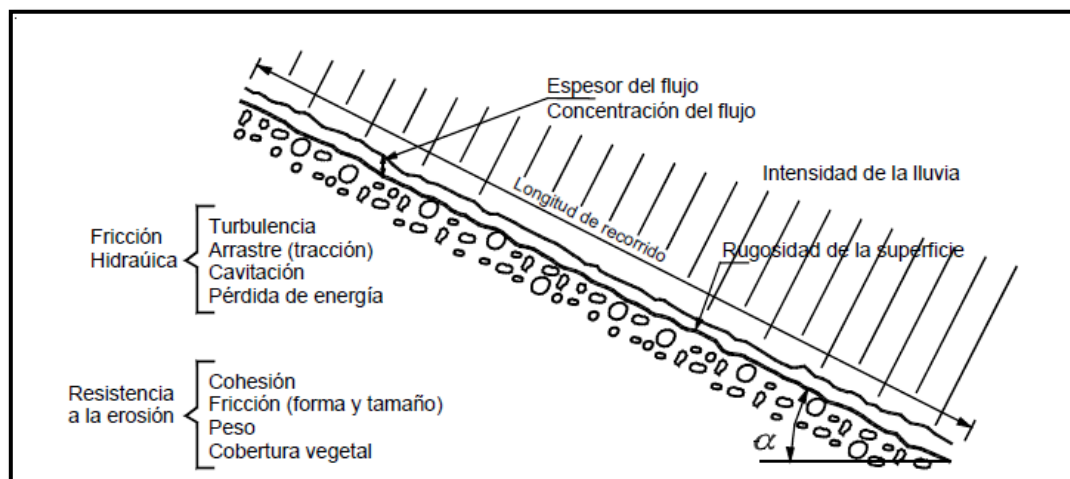


Fuente: Jaime Suarez, Control de Erosión

- **Erosión en surcos**

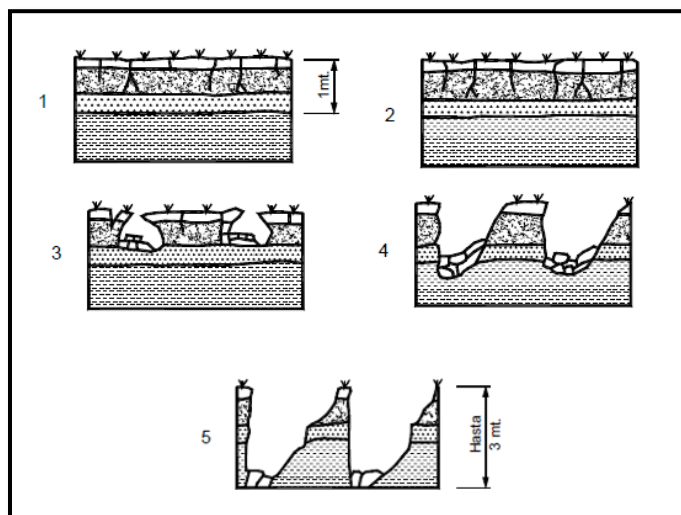
La concentración del flujo en pequeños canales o rugosidades hace que se profundicen estos pequeños canales formando una serie de surcos generalmente semi paralelos.

Figura 8:Elementos que intervienen en la formación de surcos.



Fuente: Jaime Suarez, Control de Erosión

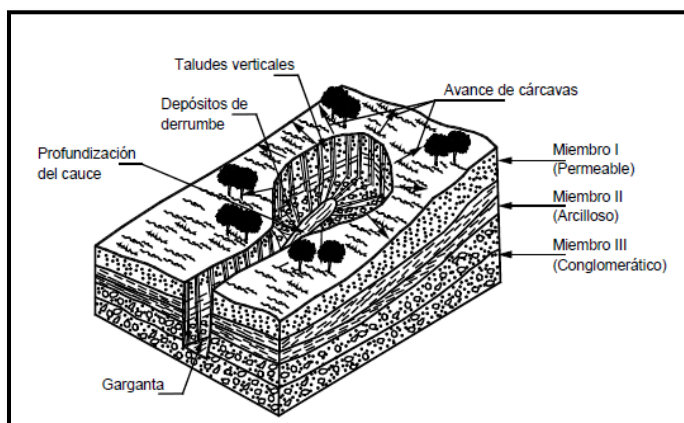
Figura 9: Procesos de formación de surcos y cárcavas.



Fuente: Jaime Suarez, Control de Erosión.

- **Erosión por afloramiento de agua**
El agua subterránea al aflorar a la superficie puede desprender las partículas de suelos subsuperficial formando cárcavas o cavernas.
- **Erosión interna**
El flujo de agua a través del suelo puede transportar partículas formando cavernas internas dentro de la tierra.
- **Erosión en cárcavas**
Los surcos pueden profundizarse formando canales profundos o la concentración en un sitio determinado de una corriente de agua importante puede generar canales largos y profundos llamados cárcavas. Una vez se inicie la cárcava es muy difícil de suspender el proceso erosivo.

Figura 10: Esquema general del proceso de erosión en cárcavas.



Fuente: Jaime Suarez, Control de Erosión

- **Erosión en cauces de agua (erosión lateral y profundización)**
La fuerza tractiva del agua en las corrientes y ríos produce ampliación lateral de los cauces profundización y dinámica general de la corriente.
- **Erosión por oleaje**
Las fuerzas de las olas al ascender y descender por una superficie de suelo producen el desprendimiento y el transporte de partículas.
- **Erosión en masa (deslizamientos)**
El término erosión o remoción en masa se relaciona a movimientos de masas importantes de suelo conocido con el nombre genérico de deslizamientos. Dentro de los diversos tipos de movimiento del suelo en taludes y laderas algunos están íntimamente relacionados con los procesos típicos de erosión. Entre ellos se indican los siguientes: [1]
 - Reptación
 - Flujos de tierra
 - Avalancha

Los taludes son áreas altamente vulnerables a la erosión hídrica, hecho que es evidente en el talud de estudio (Fotografía 1), las fuertes lluvias que se han presentado en los últimos tiempos sobre la zona donde se encuentra ubicado el talud, la escasa vegetación y la geometría del talud, estos factores y los mencionados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** han contribuido a que se forme la erosión por surcos y evolucione rápidamente a erosión por cárcavas proceso que se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, es por esta razón que se hace necesario la búsqueda de metodologías que ayuden a mitigar la erosión del talud y evitar que siga avanzando la erosión que presenta el talud ya que se pueden presenten daños y presente dificultades importantes a los residentes de la zona.

Fotografía 1:Erosión presente en el talud de estudio.



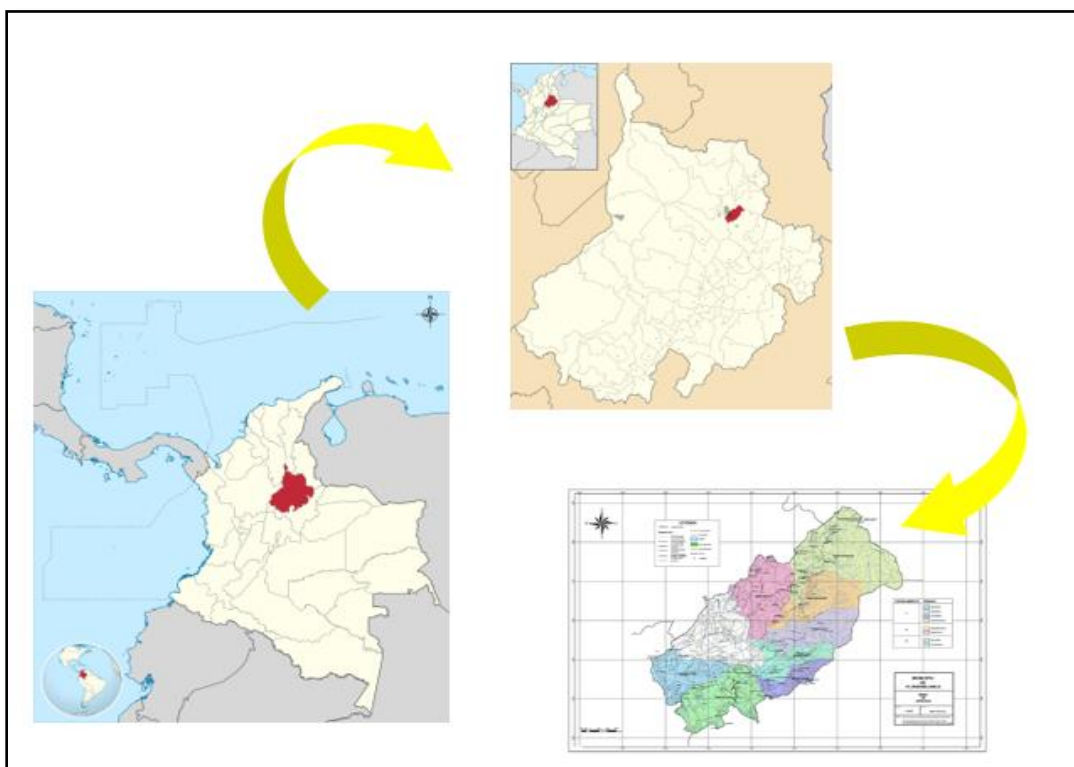
Fuente: Autores del Proyecto.

4. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

4.1. LOCALIZACIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO

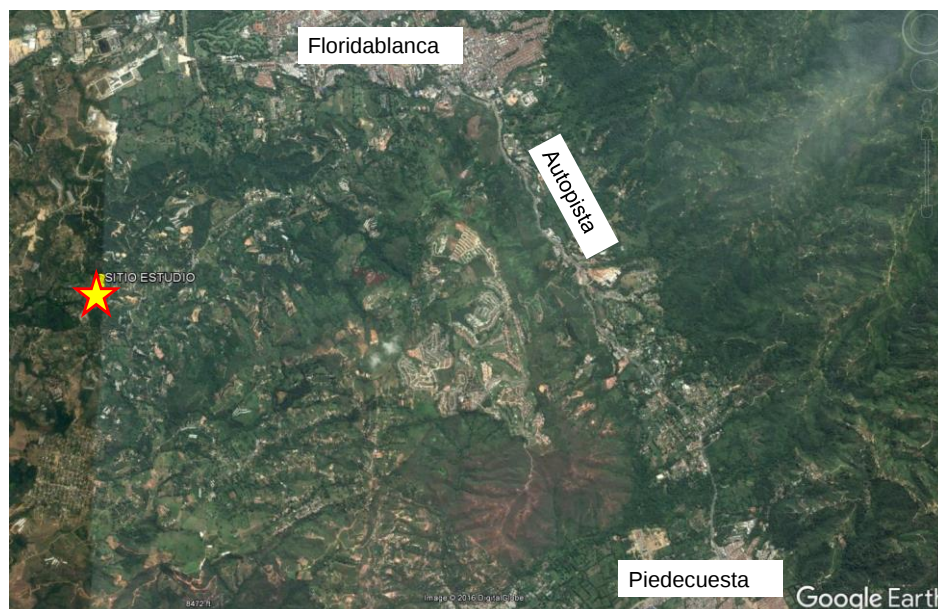
El predio en el cual se llevará a cabo el proyecto se encuentra ubicado aproximadamente en el km 6 de la Vereda Bajo Ruitoque del municipio de Girón-Santander.

Imagen 1:Ubicación Geografica del Lugar de Estudio.



Fuente: Imágenes de Google.

Imagen 2: Vía UPB al lugar de Estudio.



Fuente: Google Earth

4.2. CLIMA

Girón se localiza ecológicamente en el bosque Tropical con transición al fresco húmedo premontano.

El piso térmico sobre el cual se encuentra Girón es Tropical con variaciones importantes de temperatura. Este clima es considerado Af según la clasificación climática de Köppen- Geiger

Las principales características del clima de la zona son las siguientes:

- Temperatura: La temperatura promedio es de 22.6 °C. Al medio día la temperatura máxima media oscila alrededor de 28°C. El sol brilla un poco menos de 4 horas diarias en los meses lluviosos, pero en los meses secos, la insolación registra entre 5 y 6 horas diarias. [4]

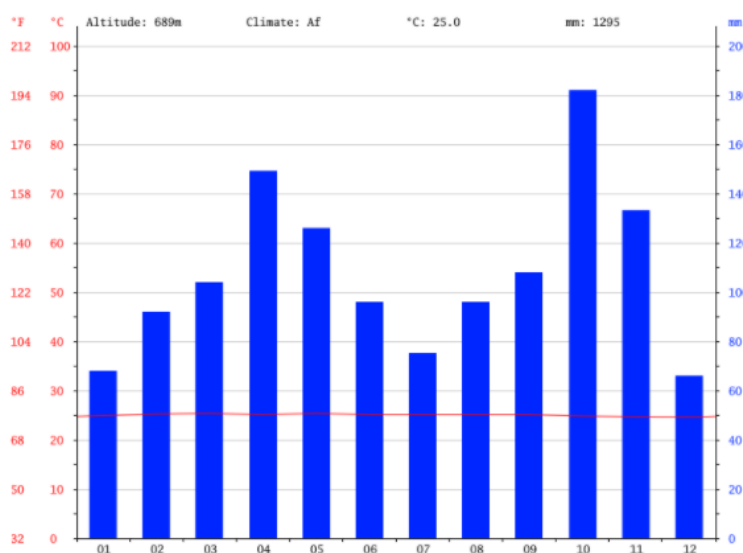
Tabla 1:Datos Históricos en el Tiempo del clima en Girón- Santander.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura Media(°C)	24.9	25.2	25.3	25.1	25.3	25.1	25.1	25.1	25.1	24.8	24.7	24.6
Temperatura Min. (°C)	19.8	20.1	20.5	20.4	20.4	20.1	19.8	19.8	19.8	20	20	19.7
Temperatura Max(°C)	30.1	30.3	30.2	29.9	30.2	30.1	30.4	30.5	30.5	29.6	29.4	29.6
Temperatura Media(°F)	76.8	77.4	77.5	77.2	77.5	77.2	77.2	77.2	77.2	76.6	76.5	76.3
Temperatura Min. (°F)	67.6	68.2	68.9	68.7	68.7	68.2	67.6	67.6	67.6	68	68	67.5
Temperatura Max(°F)	86.2	86.5	86.4	85.8	86.4	86.2	86.7	86.9	86.9	85.3	84.9	85.3
Precipitación(mm)	68	92	104	149	126	96	75	96	108	182	133	66

Fuente: Clima-Data-Org. Disponible en <<https://es.climate-data.org/location/29211/>> [acceso el 30 de Mayo del 2017]

- **Precipitación:** El promedio de lluvia total anual es de 1303 mm. Durante el año las lluvias se distribuyen en dos temporadas secas y dos temporadas lluviosas. Los meses más secos son diciembre, enero y febrero, y en menor proporción, junio, julio y agosto. Las temporadas de lluvia se extienden de marzo a mayo y de septiembre a noviembre. En los meses secos de principios de año, llueve alrededor de 10 días/mes; en los meses de mayores precipitaciones, así como en la temporada seca de mitad de año, puede llover de 17 a 19 días/mes. [4]

Imagen 3:Climograma Girón- Santander



Fuente: Clima-Data-Org. Disponible en <<https://es.climate-data.org/location/29211/>> [acceso el 30 de Mayo del 2017]

- La humedad relativa del aire: Es mayor a 80% en promedio y en épocas de lluvias alcanza valores superiores al 84%. [4]

4.3. VEGETACIÓN

Las zonas aledañas presentan vegetación consistente tales como pastos, malezas y algunos sectores con arbustos y árboles.

4.4. CARACTERIZACIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO.

Una vez en el lugar de estudio se realiza una revisión en la que se evidencia:

- ✓ Un corte transversal en el talud
- ✓ Diversos estratos con presencia de materiales Arena Arcillosa y Limos de Alta Plasticidad
- ✓ Problemas debido a la erosión del talud.

Para iniciar el desarrollo del proyecto se realizó la delimitación de la zona de Trabajo facilitando la obtención de muestras e información.

En la Fotografía 2 y Fotografía 3 se muestra la panorámica área y vista desde el pie de la zona de trabajo evidenciando la magnitud del lugar y las condiciones iniciales del talud.

Fotografía 2: Delimitación de Zona de Trabajo.



Fuente: Autores del Proyecto.

Fotografía 3: Talud de estudio.



Fuente: Autores del Proyecto.

En la

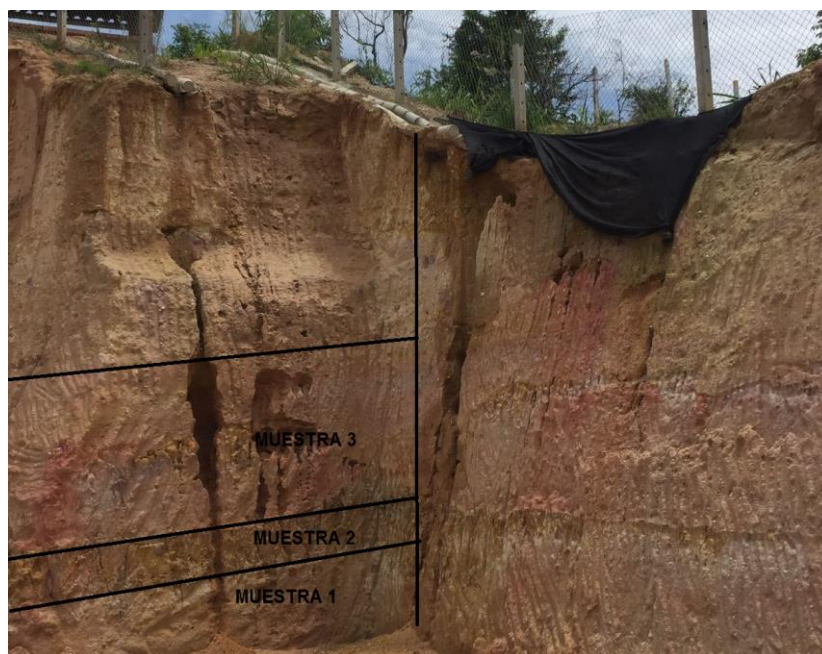
Fotografía 4 se observa la vista de la base a la cresta del talud, la erosión y los diferentes estratos de suelo que conforman el talud, en la Fotografía 5 y Fotografía 6 se hace la identificación de los estratos y la delimitación de los mismos.

Fotografía 4: Partes Generales del talud en estudio.



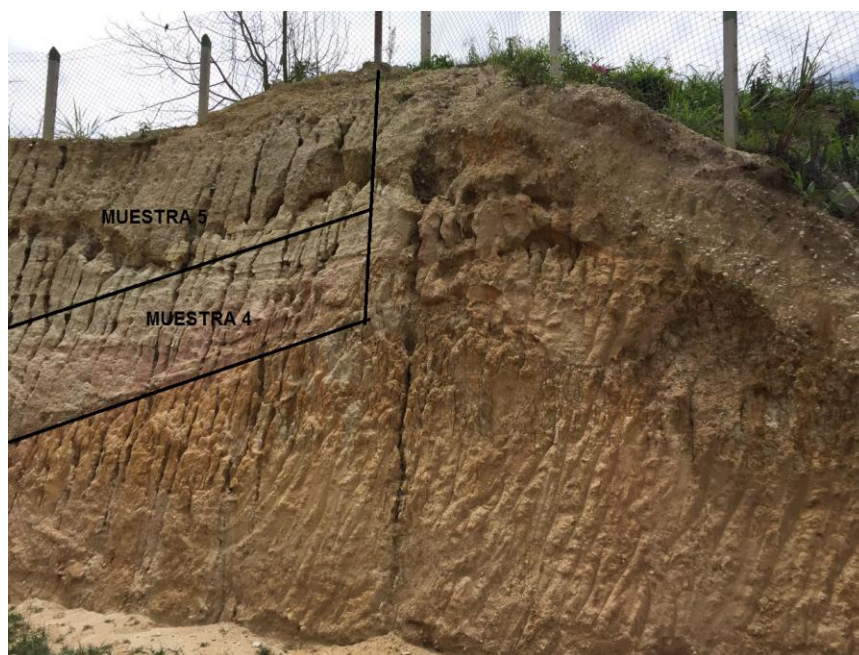
Fuente: Autores del Proyecto.

Fotografía 5: Delimitación de los estratos de Suelo.



Fuente: Autores del Proyecto.

Fotografía 6: Delimitación de los estratos de Suelo.



Fuente: Autores del Proyecto.

Las muestras de material se obtuvieron de la siguiente manera:

- Se tomaron muestras de los estratos de suelos con la ayuda de herramientas de uso manual (pico y pala), de cada muestra se obtuvieron aproximadamente 25 kg para la elaboración de ensayos de laboratorio. La Fotografía 7 muestra el sitio de extracción de muestras
- Las muestras obtenidas son muestras alteradas que se usaron para la caracterización del suelo y tomar registros para obtener los perfiles mostrados en la Tabla 2, los espesores de las muestras son tomados desde la base en dirección a la cresta del talud.

Fotografía 7: Lugar de extracción de muestras.



Fuente: Autores del Proyecto.

Tabla 2: Observaciones de las muestras.

Muestra	Observaciones	Espesores de la Muestra (m)	
		De:	A:
1	Color Amarillo Pardo	0	0.5
2	Color Gris	0.5	0.7
3	Color Café Oscuro	0.7	1.2
4	Color Rojizo con Pintas Blancas y Grises	1.2	2.5
5	Color Abano	2.5	10

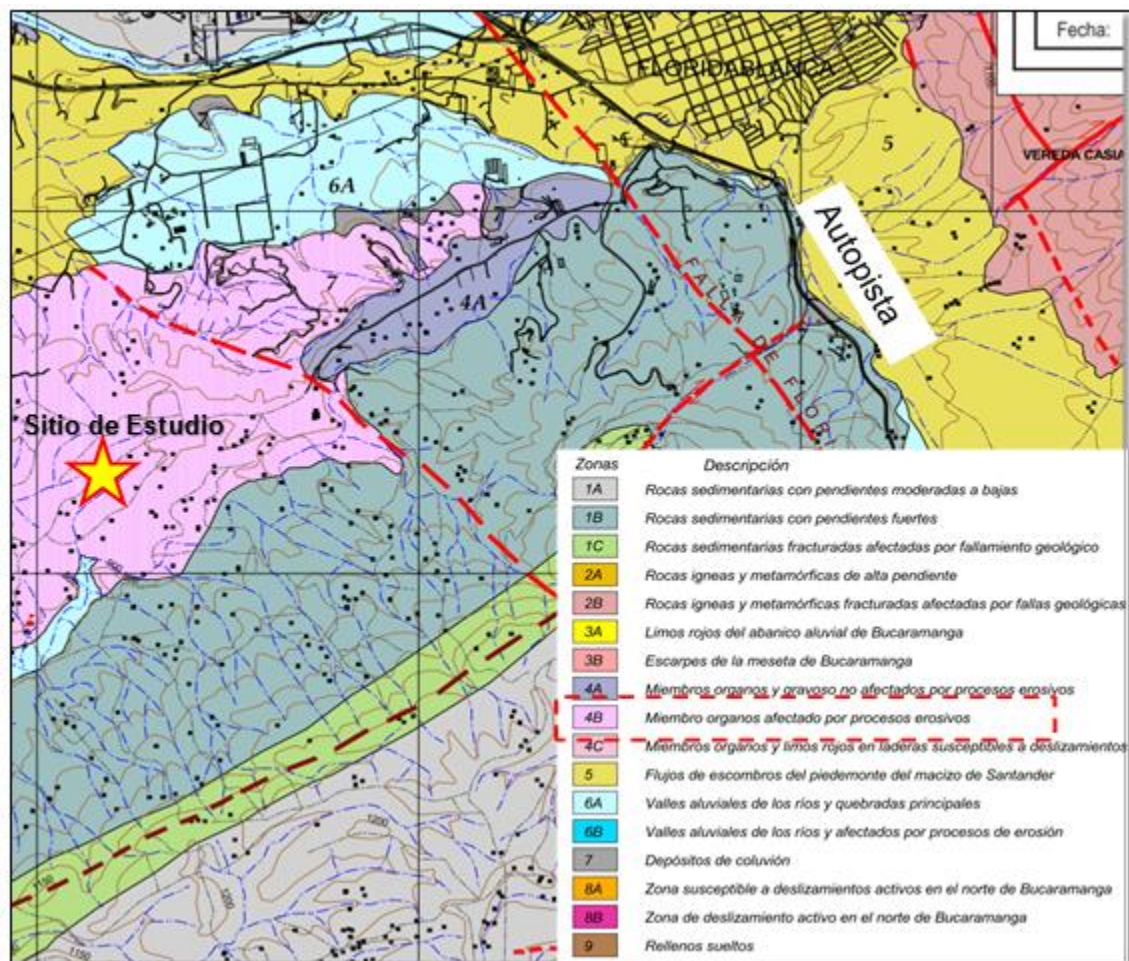
Fuente: Autores del Proyecto.

4.5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL LUGAR DE ESTUDIO.

El predio está localizado en la vereda Bajo Ruitoque del municipio de Girón. Geológicamente en la zona donde se encuentra ubicado el lote afloran depósitos de la formación Bucaramanga (Específicamente el segmento Órganos (Qbo)). Atendiendo a la morfología y las curvas de nivel determinadas en el área del proyecto y según la zonificación del Ingeominas el predio corresponde a 4B ("Miembro Órganos Afectado por Procesos Erosivos") [6]

Los suelos que caracterizan la zona son de tipo limo-arenoso con gravas y cantos aluviales típicos de flujos aluvio-torrenciales de la formación Órganos. En el sitio de estudio se observó poca presencia de gravas y cantos, con presencia de las unidades finas de esta formación. [7]

Imagen 4: Localización del área de estudio en la Microzonificación sísmica.

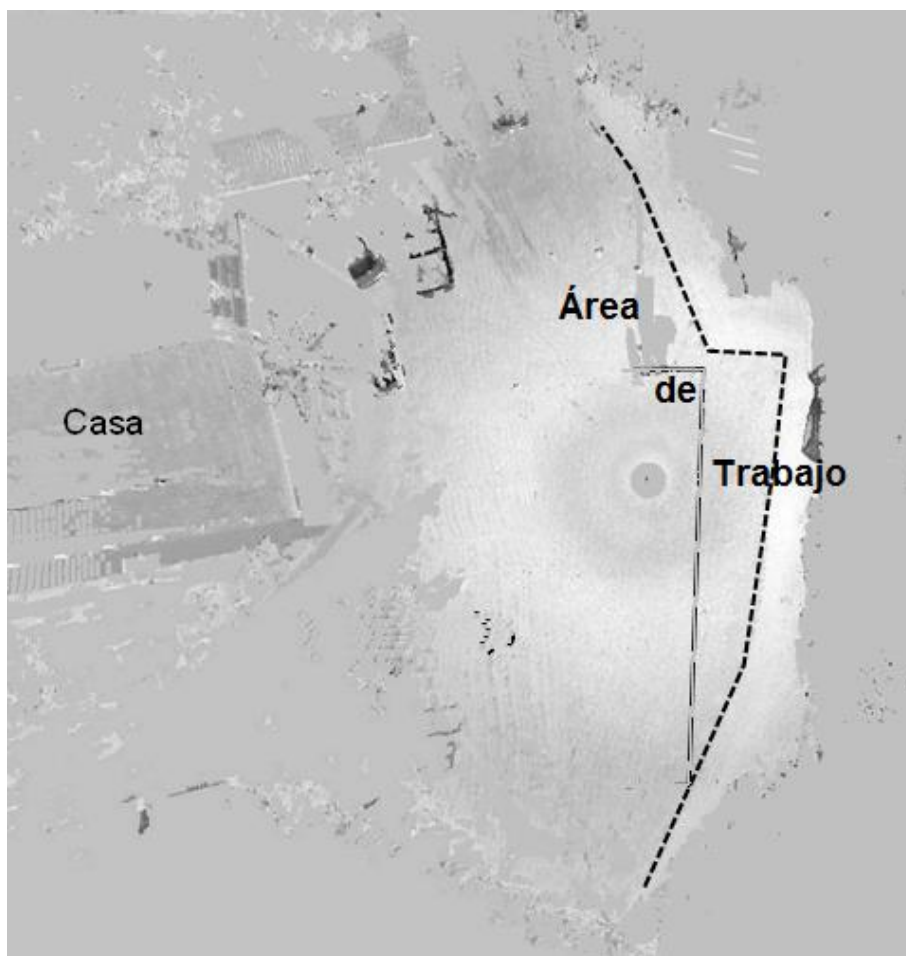


Fuente: INGEOMINAS

4.6. CARACTERIZACIÓN TOPOGRÁFICA DEL LUGAR DE ESTUDIO.

Para determinar la topografía del talud se empleó un escáner láser (LiDAR, por sus siglas en inglés) para generar nubes de puntos y topografía básica para determinar Las características del talud. Las siguientes figuras muestran la nube de puntos (Imagen 5)

Imagen 5:Nube LiDAR del talud de estudio.



Fuente: Escáner láser (LiDAR)

5. ENSAYOS DE LABORATORIO

Se realizaron visitas al lugar de estudio para la recolección de muestras de los diferentes estratos de suelos presentes en el talud.

Las muestras obtenidas fueron transportadas en bolsas plásticas al laboratorio de suelos de la Universidad Pontificia Bolivariana ubicado en Floridablanca- Santander. Después de descritas los especímenes obtenidos se identificaron las muestras típicas se tamizaron y secaron en el horno a 110°C para obtener muestras como se observa en la Fotografía 8.

Fotografía 8:Muestras Obtenidas.



Fuente: Autores del Proyecto.

Los ensayos realizados se desarrollaron teniendo en cuenta la normativa sugerida y se dividen en Humedad Natural, Granulometría, Límites y Permeabilidad los cuales aportan información básica de las características del suelo, de la resistencia al corte lo aporta el ensayo de Corte Directo. Otros ensayos realizados para evaluar las características mecánicas del suelo fueron Peso Unitario. En la Tabla 3 resume los ensayos. Se elaboraron 2 ensayos de cada muestra excepto de Corte directo y de Peso Unitario que se realizaron 1 ensayo de cada uno.

Tabla 3:Ensayos Elaborados.

Ensayo	INVIAS	Número de Ensayos Por Muestra
Humedad Natural	NORMA INV E-122-13	2
Granulometría	NORMA INV E -123-13	2
Límite líquido	NORMA INV E- 125-13	2
Límite plástico	NORMA INV E-126-13	2
Permeabilidad	Ensayo de permeabilidad de cabeza variable.	2
Corte Directo	NORMA INV E 154-13	1
Peso Unitario	NTC 1495	1

Fuente: Autores del Proyecto.

6. RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los laboratorios realizados para establecer las diferentes características y parámetros de los suelos que componen el talud.

6.1. HUMEDAD NATURAL

Tabla 4:Datos de Humedad Natural Ensayo 1.

HUMEDAD NATURAL							
Muestra	Capsula	Peso de Capsula+Suelo Humedo (gr)	Peso capsula+suelo seco(gr)	Peso del Agua	Peso de la Capsula	Peso del Suelo Seco	Contenido de Agua %
1	2	149.5	139.5	10	27.4	112.1	8.92
2	30	177.2	164.5	12.7	26.8	137.7	9.22
3	31	181.9	157.5	24.4	27.4	130.1	18.75
4	32	185.4	173.3	12.1	27	146.3	8.27
5	55	164.7	150.7	14	26.8	123.9	11.30

Fuente: Autores del Proyecto.

Tabla 5:Datos de Humedad Natural Ensayo 2.

HUMEDAD NATURAL							
Muestra	Capsula	Peso de Capsula+Suelo Humedo (gr)	Peso capsula+suelo seco(gr)	Peso del Agua	Peso de la Capsula	Peso del Suelo Seco	Contenido de Agua %
1	10	135.5	125.6	9.9	21.1	104.5	9.47
2	18	126.4	118.2	8.2	21.1	97.1	8.44
3	21	148.3	132.7	15.6	20.7	112	13.93
4	110	158	151.3	6.7	20.9	130.4	5.14
5	125	123.3	113.9	9.4	20.9	93	10.11

Fuente: Autores del Proyecto.

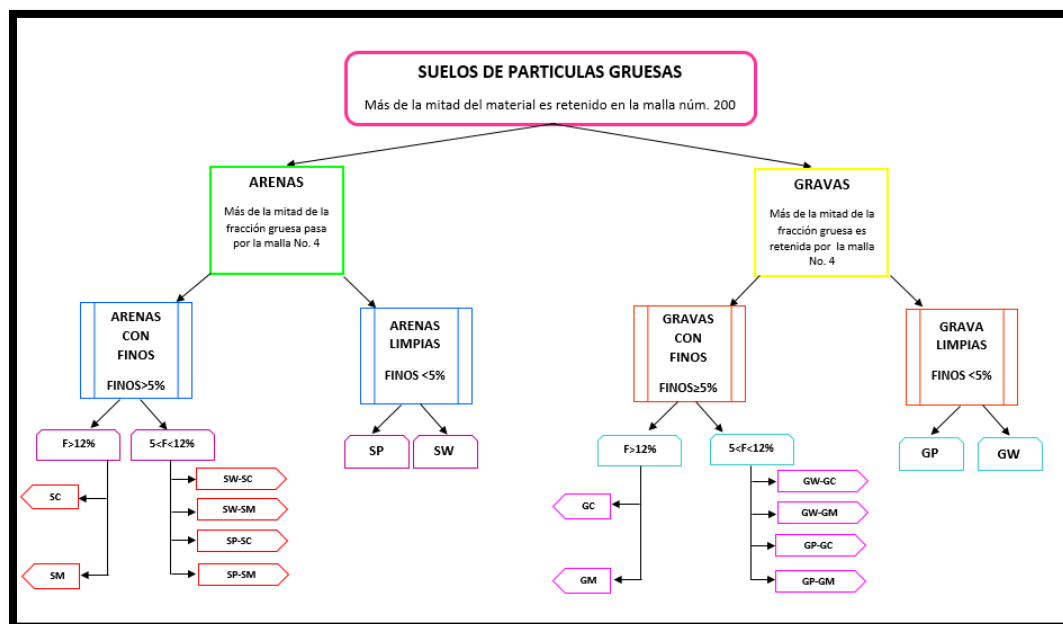
Sabiendo que la humedad natural es el contenido de agua presente en un suelo y el contenido de humedad puede variar ampliamente en función del tiempo, en los resultados finales se observó que las humedades naturales resultantes fueron bajas ya que el porcentaje de contenido de agua más alto estaba presente en la muestra número 3 que es un Limo de Alta Plasticidad con Arena (MH) con un porcentaje de 18.75% por lo que se puede establecer que es mayor el contenido de suelo que el contenido de agua presente en las muestras de suelo extraídas del talud, hay que tener presente que las muestras se tomaron de la parte que está más expuesta a las inclemencias del clima y en temporada seca.

6.2. LIMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERBERG, GRANULOMETRIA Y CLASIFICACION.

La clasificación de las muestras se realizó mediante el Sistema Unificado De Clasificación De Suelos (S.U.C.S), sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología he inventado por Arthur Casagrande en 1942 y adaptado por el U.S Bureau of Reclamation y el U.S Corps of Engineers.

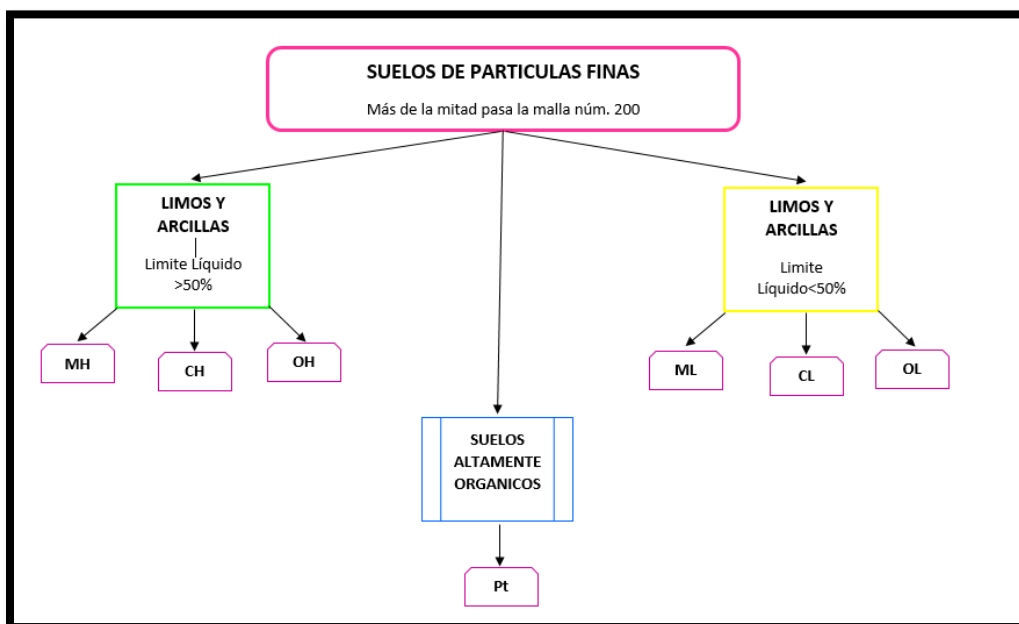
Este método describe la textura y el tamaño de las partículas de un suelo y reconoce sus propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos constituidos por partículas menores a la malla No. 200, los cuales pueden deducirse a partir de su plasticidad. El sistema divide el suelo en partículas gruesas y finas. [8]

Figura 11: Resumen de la Clasificación de los Suelos por el Sistema SUCS.



Fuente: Tomado y Ajustado del Sistemas de Clasificación De Suelo Unificado "U.S.C.S"

Figura 12: Resumen de la Clasificación de los Suelos por el Sistema SUCS.



Fuente: Tomado y Ajustado del Sistemas de Clasificación De Suelo Unificado
 “U.S.C.S”

Muestra 1.

Tabla 6:Datos de Granulometría Ensayo 1.

Muestra 1				
Peso de la muestra humedad		1044.100	gr	
Peso de la muestra seca		819.500	gr	
Malla No	Abertura mm	Peso suelo retenido gr	Porcentaje reto parcial%	Porcentaje que pasa %
2	50.8	0	0.000	100.000
1 1/2	36.1	0	0.000	100.000
1	25.4	0	0.000	100.000
3/4	19.05	0	0.000	100.000
1/2	12.7	0	0.000	100.000
3/8	9.52	5.74	0.550	99.450
No 4	4.75	16.25	1.556	97.894
No 10	2	77.55	7.427	90.466
No 20	0.84	196.66	18.835	71.631
No 40	0.42	319.49	30.600	41.032
No 60	0.25	100.83	9.657	31.374
No 100	0.149	86.77	8.311	23.064
No 200	0.074	12.95	1.240	21.824
Pasa 200	3.25	227.860	21.824	0.000
Total		1044.1		

Gravas	0.016	%
Arenas	78.161	%
Limos	21.824	%

Fuente: Autores del Proyecto.

Gráfica 1: Curva Granulométrica Ensayo 1.

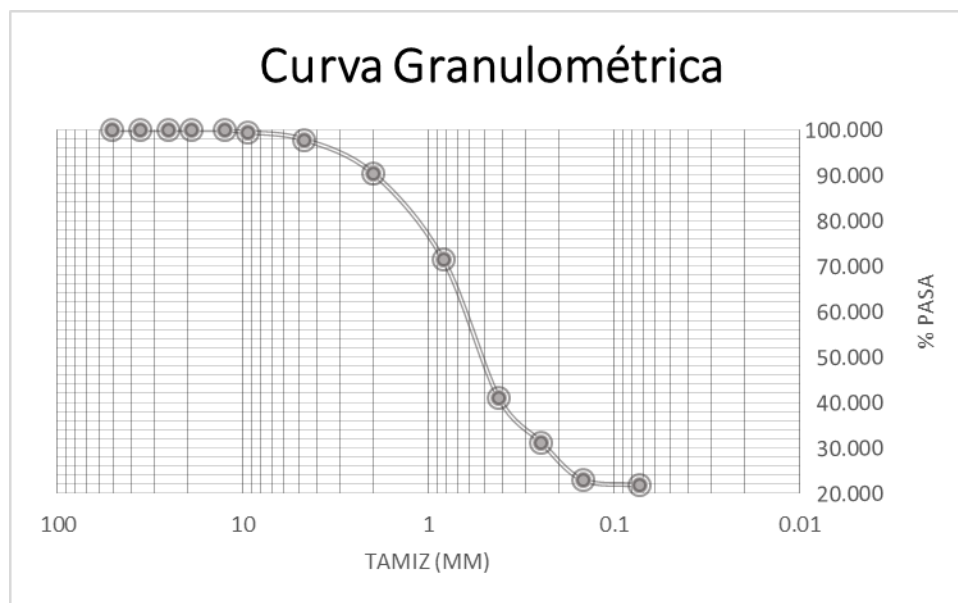


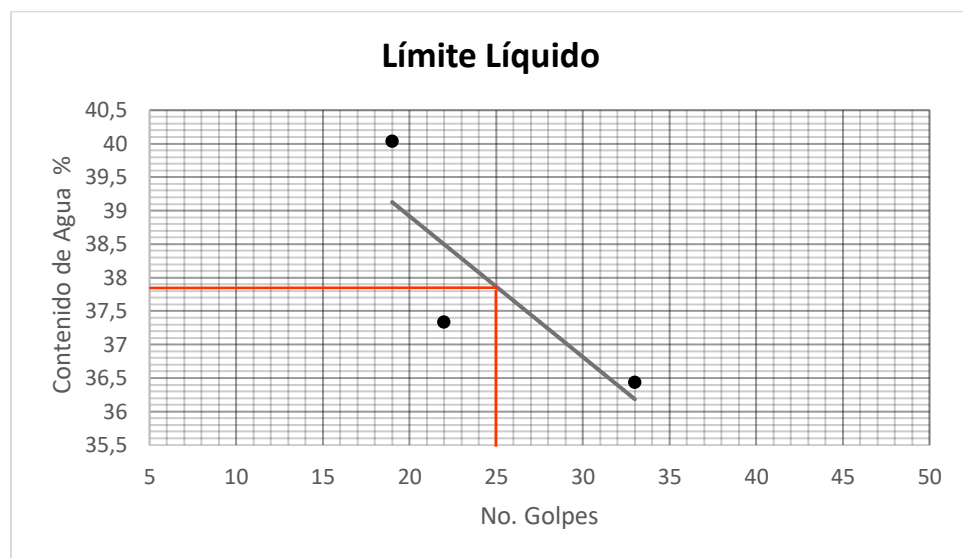
Tabla 7:Datos de Límite Líquido y Límite Plástico Ensayo 1.

Muestra 1								
Límite Líquido								
No. Prueba	Capsula	Numero de golpes	Peso de Capsula +Suelo Húmedo (gr)	Peso capsula+suelo seco(gr)	Peso del Agua	Peso de la Capsula	Peso del Suelo Seco	Contenido de Agua %
1	55	33	35.65	33.3	2.35	26.85	6.45	36.434
2	3	22	34.28	32.32	1.96	27.07	5.25	37.333
3	306	19	34.15	32.14	2.01	27.12	5.02	40.040
Límite Plástico								
No. Prueba	Capsula	Numero de golpes	Peso de Capsula +Suelo Húmedo (gr)	Peso capsula+suelo seco(gr)	Peso del Agua	Peso de la Capsula	Peso del Suelo Seco	Contenido de Agua %
1	30		26.58	25.69	0.89	20.89	4.8	18.542
2	32		32.13	31.32	0.81	27.01	4.31	18.794

Límite Líquido	37.866	%
Límite Plástico	18.668	%
Índice de Plasticidad	19.198	%

Fuente: Autores del Proyecto.

Gráfica 2:Datos de Límite Líquido Ensayo 1.



Fuente: Autores del Proyecto.

Un Índice de plasticidad elevado indica un exceso de arcilla en el suelo, también da una buena indicación de la compresibilidad, un índice de plasticidad del 19.19%, muestra que para que un suelo pase del estado semisólido al líquido, se le debe agregar gran cantidad de agua y representa un suelo arcilloso de plasticidad media como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en la que se entra con los valores de Índice de plasticidad y límite líquido obtenidos en la Tabla 7.

CLASIFICACIÓN

- **Arenas Arcillosas (SC):** Fracción de suelo que se ubica por encima de la línea A y el índice de plasticidad mayor a 7.

Figura 13: Carta de Plasticidad de Casagrande.



Fuente: Autores del Proyecto.

Tabla 8:Datos de Granulometría Ensayo 2.

Muestra 1				
Peso de la muestra humedad		858.470	gr	
Peso de la muestra seca		782.590	gr	
Malla No	Abertura mm	Peso suelo retenido gr	Porcentaje ret parcial%	Porcentaje que pasa %
2	50.8	0	0.000	100.000
1 1/2	36.1	0	0.000	100.000
1	25.4	0	0.000	100.000
3/4	19.05	0	0.000	100.000
1/2	12.7	0	0.000	100.000
3/8	9.52	4.56	0.531	99.469
No 4	4.75	22.68	2.642	96.827
No 10	2	58.56	6.821	90.005
No 20	0.84	152.22	17.732	72.274
No 40	0.42	252.45	29.407	42.867
No 60	0.25	52.62	6.130	36.737
No 100	0.149	64.96	7.567	29.171
No 200	0.074	7.88	0.918	28.253
Pasa 200	1.7	242.54	28.253	0.000
Total		858.47		

Gravas	2.642	%
Arenas	69.106	%
Limos	28.253	%

Fuente: Autores del Proyecto.

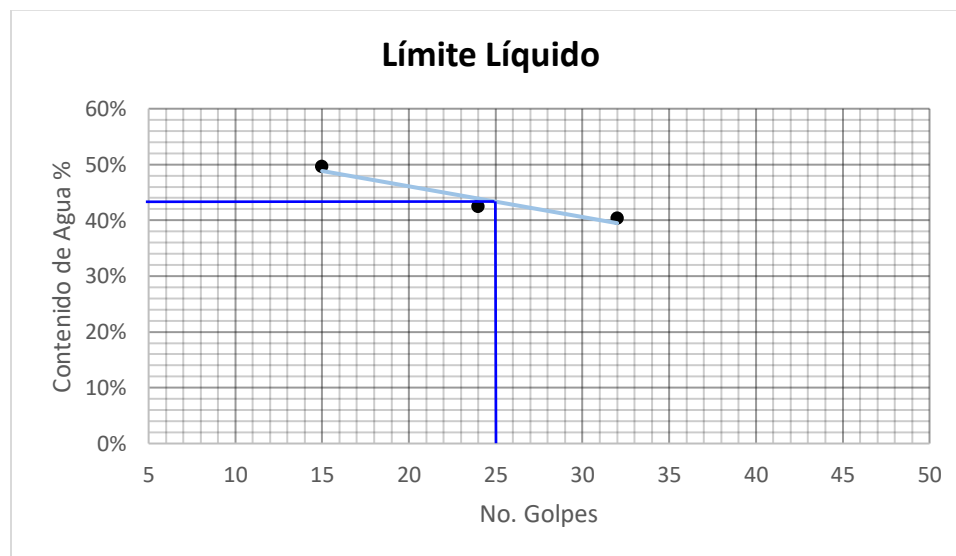
Tabla 9:Datos de Límite Líquido y Límite Plástico Ensayo 2.

Muestra 1								
Límite Líquido								
No. Prueba	Capsula	Numero de golpes	Peso de Capsula +Suelo Húmedo (gr)	Peso capsula+suelo seco(gr)	Peso del Agua	Peso de la Capsula	Peso del Suelo Seco	Contenido de Agua %
1	31	31	34.13	32.35	1.78	27.42	4.93	36.105
2	10	29	31.78	30.48	1.3	27.11	3.37	38.576
3	2	18	39.18	35.89	3.29	27.48	8.41	39.120
Límite Plástico								
No. Prueba	Capsula	Numero de golpes	Peso de Capsula +Suelo Húmedo (gr)	Peso capsula+suelo seco(gr)	Peso del Agua	Peso de la Capsula	Peso del Suelo Seco	Contenido de Agua %
1	21		24.82	24.62	0.2	20.76	3.86	5.181
2	110		25.77	24.99	0.78	21.04	3.95	19.747

Límite Líquido	43.342 %
Límite Plástico	12.464 %
Índice de Plasticidad	30.877 %

Fuente: Autores del Proyecto.

Figura 14:Grafica Datos de Límite Líquido y Límite Plástico Ensayo 2.



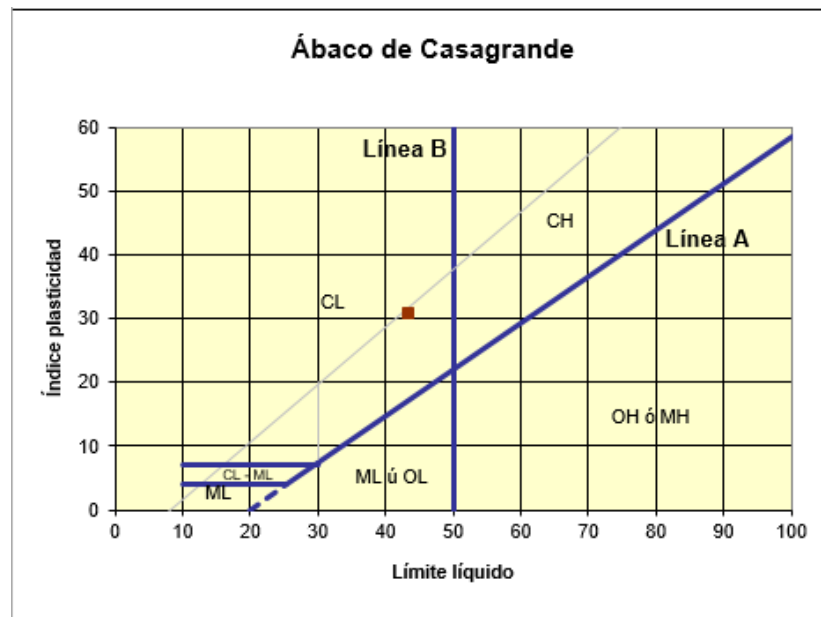
Fuente: Autores del Proyecto.

Un Índice de plasticidad elevado indica un exceso de arcilla en el suelo, también da una buena indicación de la compresibilidad, un índice de plasticidad del 30.87%, muestra que para que un suelo pase del estado semisólido al líquido, se le debe agregar gran cantidad de agua y representa un suelo arcilloso de plasticidad media como se muestra en la Figura 15: Carta de Plasticidad de Casagrande., en la que se entra con los valores de Índice de plasticidad y límite líquido obtenidos en la Tabla 9.

CLASIFICACIÓN

- **Arenas Arcillosas (SC):** Fracción de suelo que se ubica por encima de la línea A y el índice de plasticidad mayor a 7.

Figura 15: Carta de Plasticidad de Casagrande.



Fuente: Autores del Proyecto.

Muestra 2.

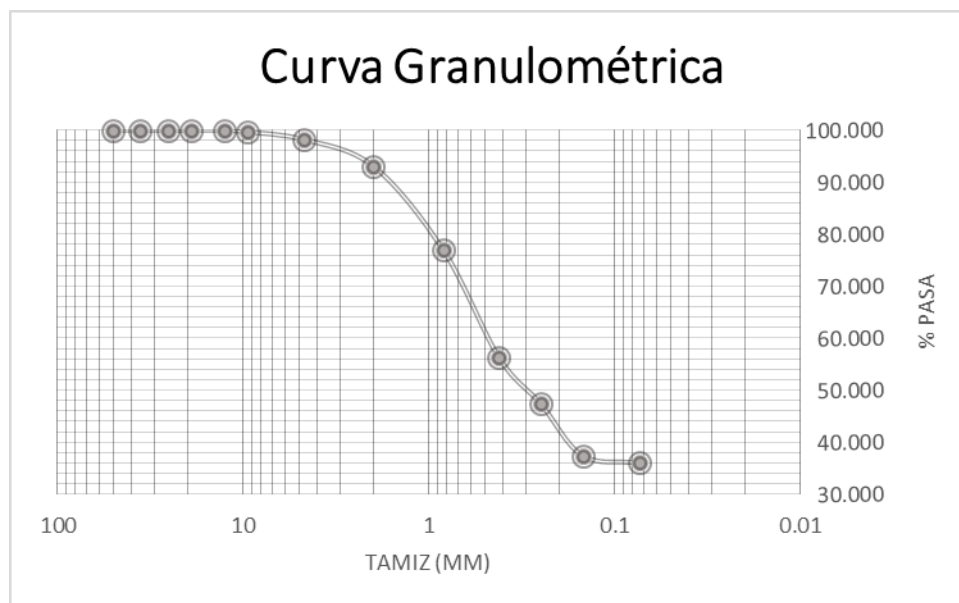
Tabla 10:Datos de Granulometría Ensayo 1.

Muestra 2				
Peso de la muestra humedad		984.800	gr	
Peso de la muestra seca		634.600	gr	
Malla No	Abertura mm	Peso suelo retenido gr	Porcentaje ret parcial%	Porcentaje que pasa %
2	50.8	0	0.000	100.000
1 1/2	36.1	0	0.000	100.000
1	25.4	0	0.000	100.000
3/4	19.05	0	0.000	100.000
1/2	12.7	0	0.000	100.000
3/8	9.52	3.2	0.325	99.675
No 4	4.75	14.34	1.456	98.219
No 10	2	50.15	5.092	93.127
No 20	0.84	158.9	16.135	76.991
No 40	0.42	204.5	20.766	56.226
No 60	0.25	87.61	8.896	47.329
No 100	0.149	97.85	9.936	37.393
No 200	0.074	13.5	1.371	36.023
Pasa 200	3.55	354.75	36.023	0.000
Total		984.8		

Gravas	1.456	%
Arenas	62.521	%
Limos	36.023	%

Fuente: Autores del Proyecto.

Gráfica 4:Curva Granulométrica Ensayo 1.



Fuente: Autores del Proyecto.

Al terminar los cálculos del ensayo de granulometría mostrados en la Tabla 10 se ha podido inferir acerca de la distribución y clasificación de la muestra, como:

- El 1.37 % de la muestra, es Arena Fina, este porcentaje quedo retenido en el tamiz número 200.
- El 20.76 % de la muestra es Arena Media, comparando la abertura del tamiz utilizado, en este caso el tamiz número 40 de la tabla anteriormente expuesta.
- El 36.02 % de la muestra se considera Arcilla y/o Limo, ya este fue el porcentaje que quedo en el tamiz Pasa 200.
- El 5.09% de la muestra es considerada Arena gruesa, comparando la abertura del tamiz utilizado, en este caso el tamiz número 10 con la tabla anterior.

Luego de determinar los porcentajes de muestra que pasan por los tamices y ya conociendo las aberturas de estos, se pudo establecer una relación grafica de estos dos, como se observa en la Gráfica 4

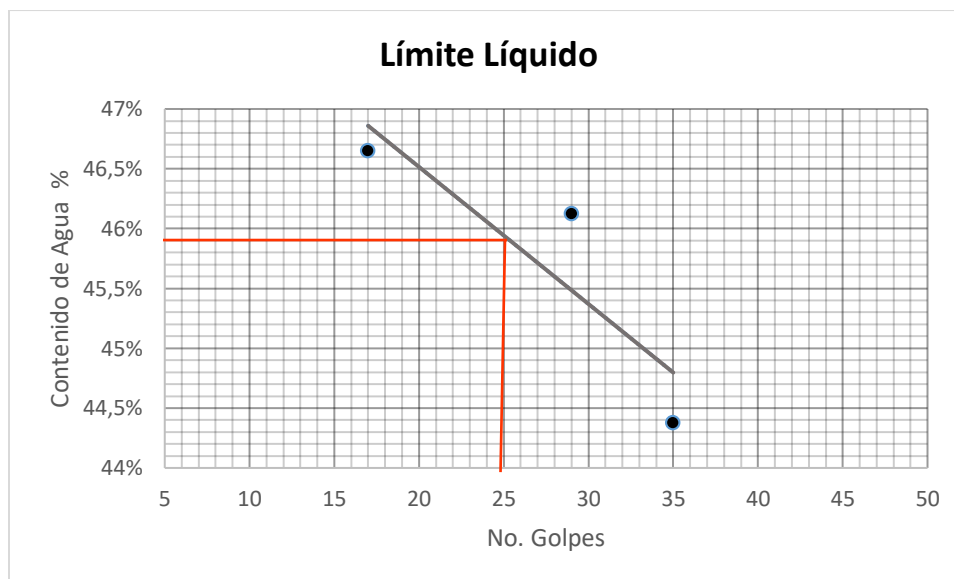
Tabla 11:Datos de Límite Líquido y Límite Plástico Ensayo 1.

Muestra 2								
Límite Líquido								
No. Prueba	Capsula	Numero de golpes	Peso de Capsula +Suelo Húmedo (gr)	Peso capsula+suelo seco(gr)	Peso del Agua	Peso de la Capsula	Peso del Suelo Seco	Contenido de Agua %
1	23	17	32.27	30.67	1.6	27.24	3.43	46.647
2	114	29	27.94	25.8	2.14	21.16	4.64	46.121
3	17	35	25.73	24.35	1.38	21.24	3.11	44.373
Límite Plástico								
No. Prueba	Capsula	Numero de golpes	Peso de Capsula +Suelo Húmedo (gr)	Peso capsula+suelo seco(gr)	Peso del Agua	Peso de la Capsula	Peso del Suelo Seco	Contenido de Agua %
1	50		14.04	13.51	0.53	10.23	3.28	16.159
2	61		26.75	26.01	0.74	21.72	4.29	17.249

Límite Líquido	45.942 %
Límite Plástico	16.704 %
Índice de Plasticidad	29.238 %

Fuente: Autores del Proyecto.

Gráfica 5:Datos de Límite Líquido Ensayo 1.



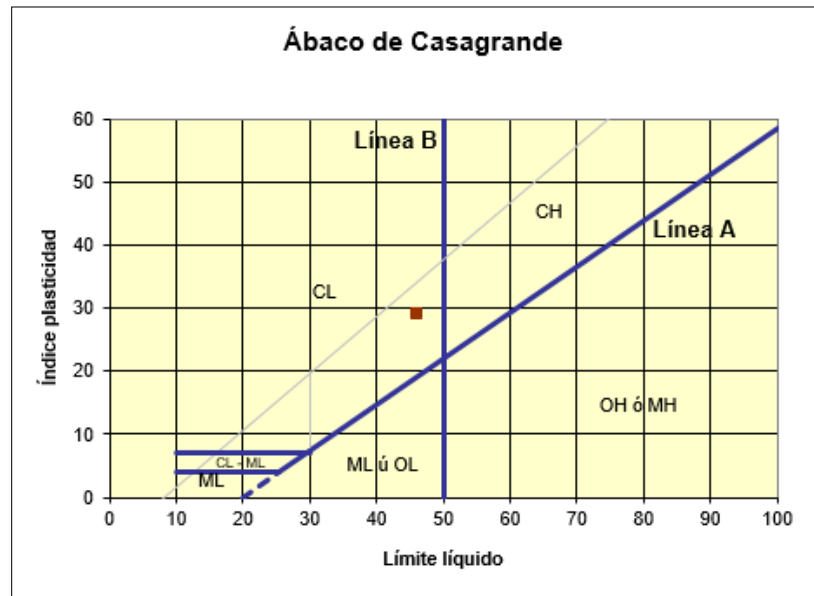
Fuente: Autores del Proyecto.

Un Índice de plasticidad elevado indica un exceso de arcilla en el suelo, también da una buena indicación de la compresibilidad, un índice de plasticidad del 29.23%, muestra que para que un suelo pase del estado semisólido al líquido, se le debe agregar gran cantidad de agua y representa un suelo arcilloso de plasticidad media como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en la que se entra con los valores de Índice de plasticidad y límite líquido obtenidos en la Tabla 11.

CLASIFICACIÓN

- **Arenas Arcillosas (SC):** Fracción de suelo que se ubica por encima de la línea A y el índice de plasticidad mayor a 7.

Figura 16: Carta de Plasticidad de Casagrande.



Fuente: Autores del Proyecto.

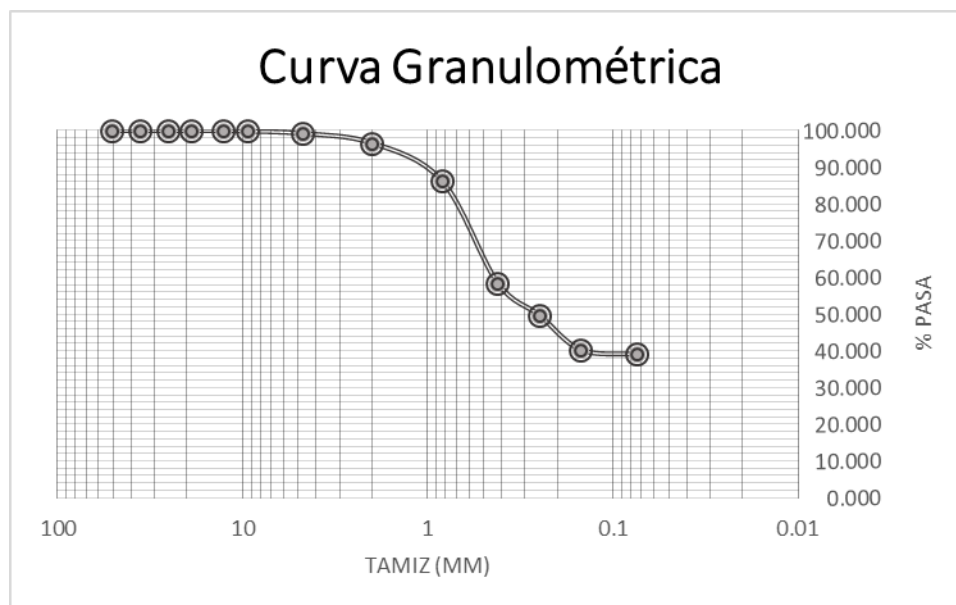
Tabla 12:Datos de Granulometría Ensayo 2.

Muestra 2				
Peso de la muestra humedad		900.670	gr	
Peso de la muestra seca		825.689	gr	
Malla No	Abertura mm	Peso suelo retenido gr	Porcentaje ret parcial%	Porcentaje que pasa %
2	50.8	0	0.000	100.000
1 1/2	36.1	0	0.000	100.000
1	25.4	0	0.000	100.000
3/4	19.05	0	0.000	100.000
1/2	12.7	0	0.000	100.000
3/8	9.52	1.46	0.162	99.838
No 4	4.75	5.51	0.612	99.226
No 10	2	23.4	2.598	96.628
No 20	0.84	92.27	10.245	86.383
No 40	0.42	251.18	27.888	58.495
No 60	0.25	78.94	8.765	49.731
No 100	0.149	84.96	9.433	40.298
No 200	0.074	10.9	1.210	39.088
Pasa 200	4.53	352.05	39.088	0.000
Total		900.67		

Gravas	0.612	%
Arenas	60.301	%
Limos	39.088	%

Fuente: Autores del Proyecto.

Gráfica 6: Curva Granulométrica Ensayo 2.



Fuente: Autores del Proyecto.

Al terminar los cálculos del ensayo de granulometría mostrados en la Tabla 12 se ha podido inferir acerca de la distribución y clasificación de la muestra, como:

- El 1.21 % de la muestra, es Arena Fina, este porcentaje quedo retenido en el tamiz número 200.
- El 27.88 % de la muestra es Arena Media, comparando la abertura del tamiz utilizado, en este caso el tamiz número 40 de la tabla anteriormente expuesta.
- El 39.08 % de la muestra se considera Arcilla y/o Limo, ya este fue el porcentaje que quedo en el tamiz Pasa 200.
- El 2.59% de la muestra es considerada Arena gruesa, comparando la abertura del tamiz utilizado, en este caso el tamiz número 10 con la tabla anterior.

Luego de determinar los porcentajes de muestra que pasan por los tamices y ya conociendo las aberturas de estos, se pudo establecer una relación grafica de estos dos, como se observa en la Gráfica 6.

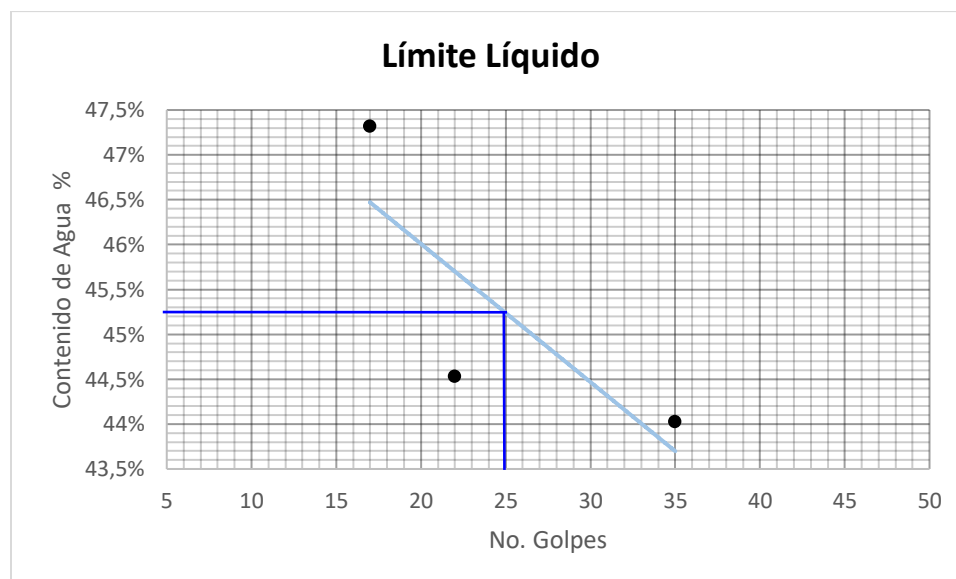
Tabla 13:Datos de Límite Líquido y Límite Plástico Ensayo 2.

Muestra 2								
Límite Líquido								
No. Prueba	Capsula	Numero de golpes	Peso de Capsula +Suelo Húmedo (gr)	Peso capsula+suelo seco(gr)	Peso del Agua	Peso de la Capsula	Peso del Suelo Seco	Contenido de Agua %
1	30	19	33.16	31.1	2.06	26.83	4.27	48.244
2	28	29	29.38	26.7	2.68	20.82	5.88	45.578
3	14	33	27.71	25.78	1.93	21.19	4.59	42.048
Límite Plástico								
No. Prueba	Capsula	Numero de golpes	Peso de Capsula +Suelo Húmedo (gr)	Peso capsula+suelo seco(gr)	Peso del Agua	Peso de la Capsula	Peso del Suelo Seco	Contenido de Agua %
1	58		25.81	25.13	0.68	21.34	3.79	17.942
2	24		25.37	24.76	0.61	21.14	3.62	16.851

Límite Líquido	45.238 %
Límite Plástico	17.396 %
Índice de Plasticidad	27.842 %

Fuente: Autores del Proyecto.

Gráfica 7:Datos de Límite Líquido Ensayo 2.



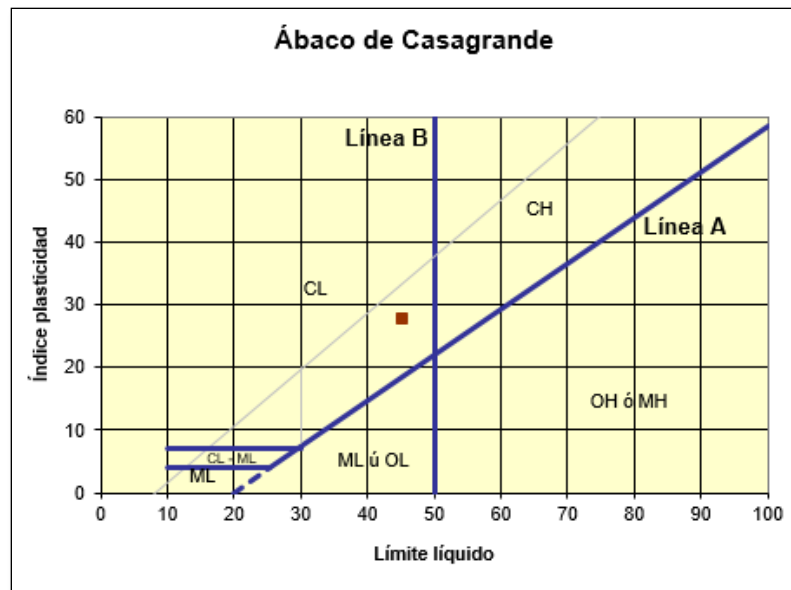
Fuente: Autores del Proyecto.

Un Índice de plasticidad elevado indica un exceso de arcilla en el suelo, también da una buena indicación de la compresibilidad, un índice de plasticidad del 27.84%, muestra que para que un suelo pase del estado semisólido al líquido, se le debe agregar gran cantidad de agua y representa un suelo arcilloso de plasticidad media como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en la que se entra con los valores de Índice de plasticidad y límite líquido obtenidos en la Tabla 13.

CLASIFICACIÓN

- **Arenas Arcillosas (SC):** Fracción de suelo que se ubica por encima de la línea A y el índice de plasticidad mayor a 7.

Figura 17: Carta de Plasticidad de Casagrande.



Fuente: Autores del Proyecto.

Muestra 3.

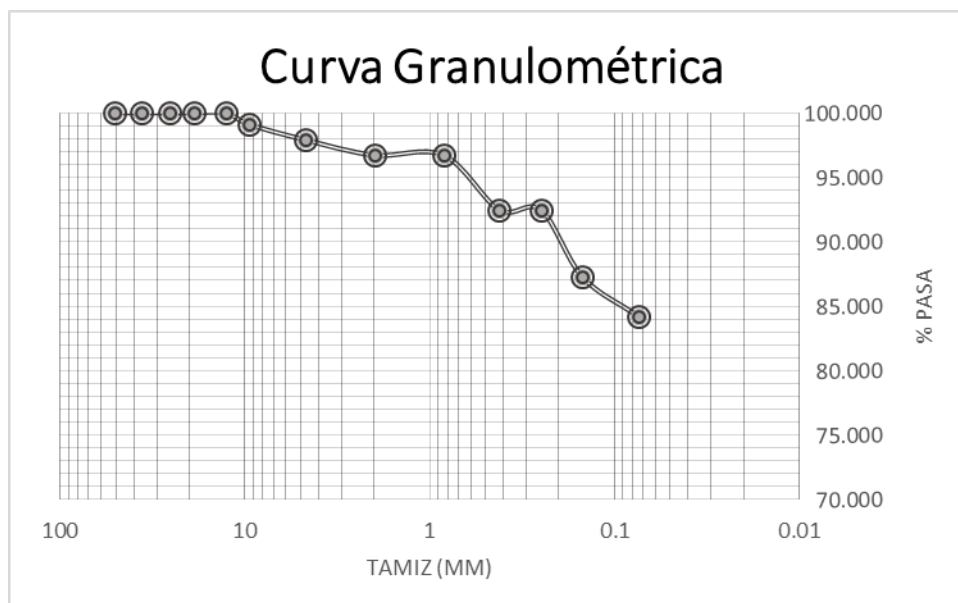
Tabla 14:Datos de Granulometría Ensayo 1.

Muestra 3				
Peso de la muestra humedad		216.600	gr	
Peso de la muestra seca		34.200	gr	
Malla No	Abertura mm	Peso suelo retenido gr	Porcentaje ret parcial%	Porcentaje que pasa %
2	50.8	0	0.000	100.000
1 1/2	36.1	0	0.000	100.000
1	25.4	0	0.000	100.000
3/4	19.05	0	0.000	100.000
1/2	12.7	0	0.000	100.000
3/8	9.52	1.9	0.877	99.123
No 4	4.75	2.6	1.200	97.922
No 10	2	2.6	1.200	96.722
No 20	0.84	0	0.000	96.722
No 40	0.42	9.2	4.247	92.475
No 60	0.25	0	0.000	92.475
No 100	0.149	11.3	5.217	87.258
No 200	0.074	6.6	3.047	84.211
Pasa 200	5.62	182.4	84.211	0.000
Total		216.6		

Gravas	1.200	%
Arenas	14.589	%
Limos	84.211	%

Fuente: Autores del Proyecto.

Gráfica 8:Curva Granulométrica Ensayo 1.



Fuente: Autores del Proyecto.

Al terminar los cálculos del ensayo de granulometría mostrados en la Tabla 14 se ha podido inferir acerca de la distribución y clasificación de la muestra, como:

- El 3.04% de la muestra, es Arena Fina, este porcentaje quedo retenido en el tamiz número 200.
- El 4.24% de la muestra es Arena Media, comparando la abertura del tamiz utilizado, en este caso el tamiz número 40 de la tabla anteriormente expuesta.
- El 84.211% de la muestra se considera Arcilla y/o Limo, ya este fue el porcentaje que quedo en el tamiz Pasa 200.
- El 1.20% de la muestra es considerada Arena gruesa, comparando la abertura del tamiz utilizado, en este caso el tamiz número 10 con la tabla anterior.

Luego de determinar los porcentajes de muestra que pasan por los tamices y ya conociendo las aberturas de estos, se pudo establecer una relación grafica de estos dos, como se observa en la Gráfica 8.

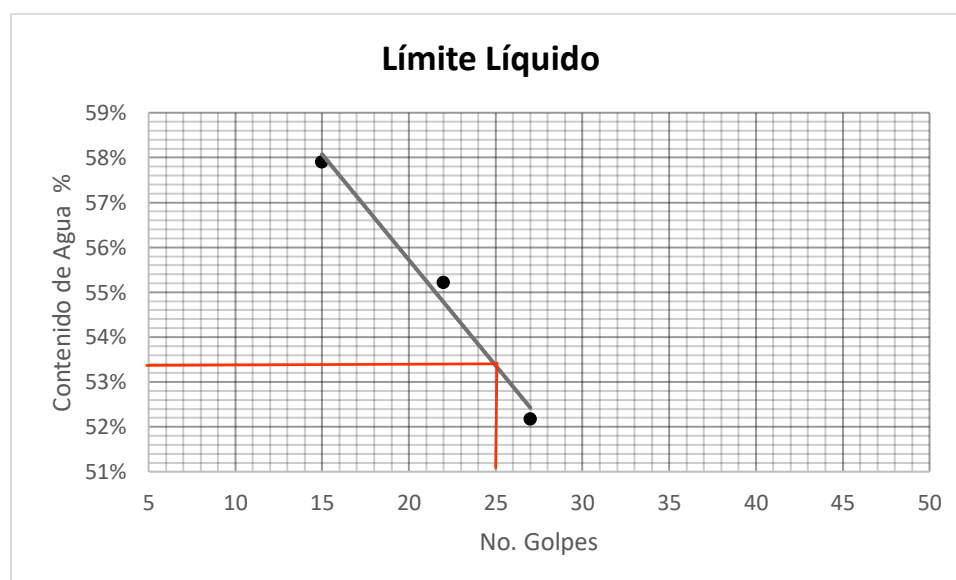
Tabla 15:Datos de Límite Líquido y Límite Plástico Ensayo 1.

Muestra 3								
Límite Líquido								
No. Prueba	Capsula	Numero de golpes	Peso de Capsula +Suelo Húmedo (gr)	Peso capsula+suelo seco(gr)	Peso del Agua	Peso de la Capsula	Peso del Suelo Seco	Contenido de Agua %
2	13	27	31.1	23.9	7.2	10.1	13.8	52.174
3	33	22	23	17.7	5.3	8.1	9.6	55.208
4	32	15	28.2	21.6	6.6	10.2	11.4	57.895
Límite Plástico								
No. Prueba	Capsula	Numero de golpes	Peso de Capsula +Suelo Húmedo (gr)	Peso capsula+suelo seco(gr)	Peso del Agua	Peso de la Capsula	Peso del Suelo Seco	Contenido de Agua %
1	65		20.1	17	3.1	8.5	8.5	36.471
2	99		22.3	18.6	3.7	8.4	10.2	36.275

Límite Líquido	53.365 %
Límite Plástico	36.373 %
Índice de Plasticidad	16.992 %

Fuente: Autores del Proyecto.

Gráfica 9:Datos de Límite Líquido Ensayo 1.



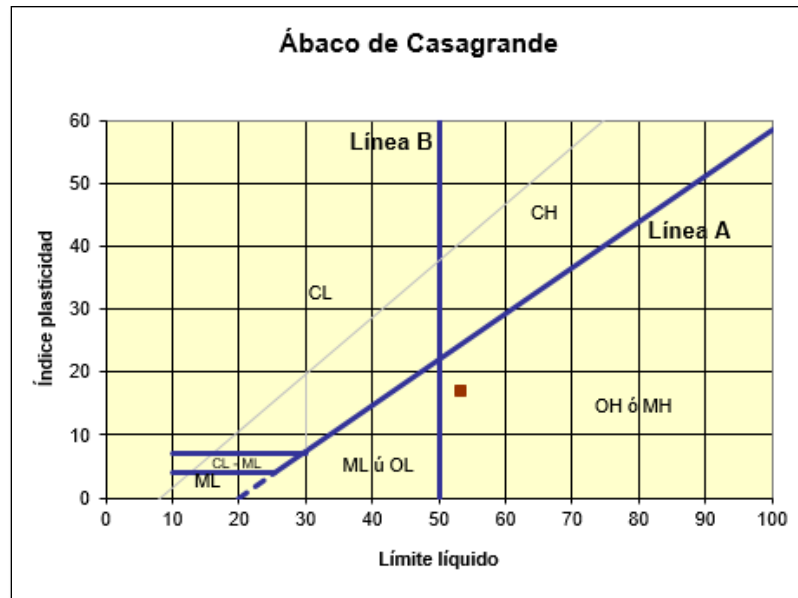
Fuente: Autores del Proyecto.

Un Índice de plasticidad elevado indica un exceso de arcilla en el suelo, también da una buena indicación de la compresibilidad, un índice de plasticidad del 16.99%, muestra que para que un suelo pase del estado semisólido al líquido, se le debe agregar gran cantidad de agua y representa un suelo limoso de alta plasticidad con Arena como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en la que se entra con los valores de Índice de plasticidad y límite líquido obtenidos en la Tabla 15.

CLASIFICACIÓN

- **Limos de Alta Plasticidad con Arena (MH):** Corresponde a la zona bajo la línea A, definida por un límite líquido mayor que 50% y un índice de plasticidad menor que 4%.

Figura 18: Carta de Plasticidad de Casagrande.



Fuente: Autores del Proyecto.

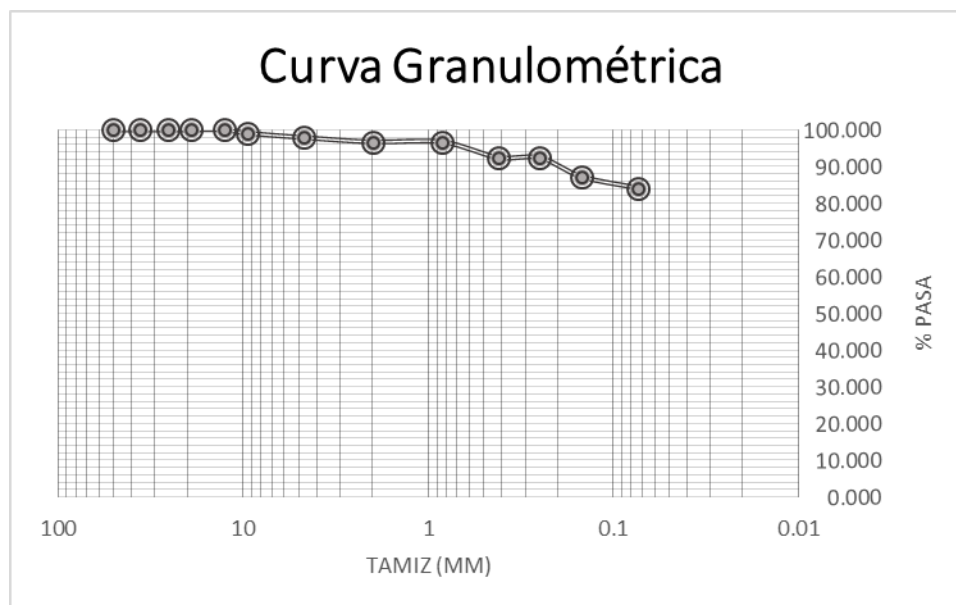
Tabla 16:Datos de Granulometría Ensayo 2.

Muestra 3				
Peso de la muestra humedad		310.600	gr	
Peso de la muestra seca		128.200	gr	
Malla No	Abertura mm	Peso suelo retenido gr	Porcentaje ret parcial%	Porcentaje que pasa %
2	50.8	0	0.000	100.000
1 1/2	36.1	0	0.000	100.000
1	25.4	0	0.000	100.000
3/4	19.05	0	0.000	100.000
1/2	12.7	0	0.000	100.000
3/8	9.52	0	0.000	100.000
No 4	4.75	0.5	0.161	99.839
No 10	2	1.5	0.483	99.356
No 20	0.84	3.12	1.005	98.352
No 40	0.42	4.5	1.449	96.903
No 60	0.25	9.8	3.155	93.748
No 100	0.149	11.5	3.703	90.045
No 200	0.074	17.31	5.573	84.472
Pasa 200	3.24	262.37	84.472	0.000
Total		310.6		

Gravas	0.161	%
Arenas	15.367	%
Limos	84.472	%

Fuente: Autores del Proyecto.

Gráfica 10:Curva Granulométrica Ensayo 2.



Fuente: Autores del Proyecto.

Al terminar los cálculos del ensayo de granulometría mostrados en la Tabla 16 se ha podido inferir acerca de la distribución y clasificación de la muestra, como:

- El 5.57% de la muestra, es Arena Fina, este porcentaje quedo retenido en el tamiz número 200.
- El 1.44% de la muestra es Arena Media, comparando la abertura del tamiz utilizado, en este caso el tamiz número 40 de la tabla anteriormente expuesta.
- El 84.47% de la muestra se considera Arcilla y/o Limo, ya este fue el porcentaje que quedo en el tamiz Pasa 200.
- El 0.48% de la muestra es considerada Arena gruesa, comparando la abertura del tamiz utilizado, en este caso el tamiz número 10 con la tabla anterior.

Luego de determinar los porcentajes de muestra que pasan por los tamices y ya conociendo las aberturas de estos, se pudo establecer una relación grafica de estos dos, como se observa en la Gráfica 10.

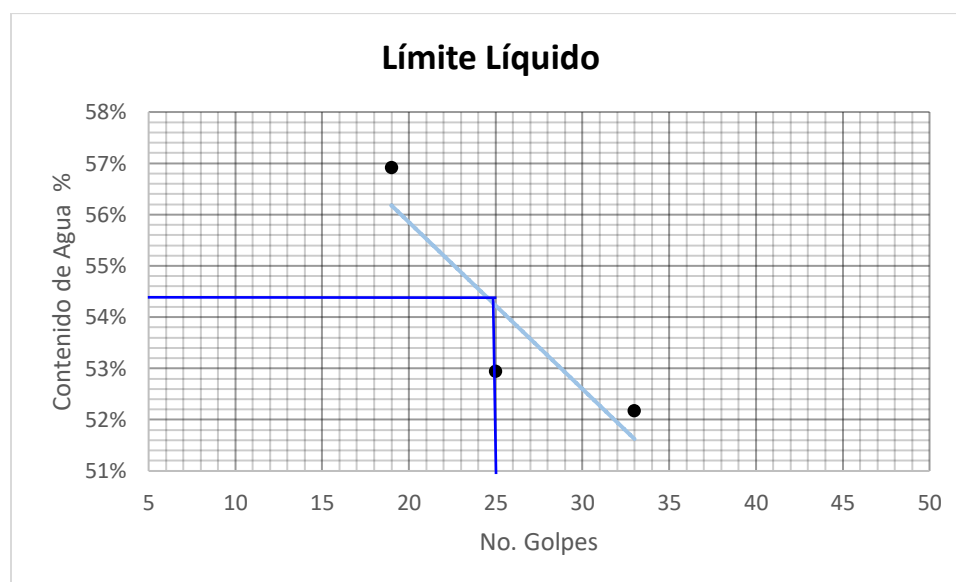
Tabla 17:Datos de Límite Líquido y Límite Plástico Ensayo 2.

Muestra 3								
Límite Líquido								
No. Prueba	Capsula	Numero de golpes	Peso de Capsula +Suelo Húmedo (gr)	Peso capsula+suelo seco(gr)	Peso del Agua	Peso de la Capsula	Peso del Suelo Seco	Contenido de Agua %
1	306	33	25.8	19.8	6	8.3	11.5	52.174
2	2	25	24	18.6	5.4	13	10.2	52.941
3	9	19	29.5	22.5	7	10.2	12.3	56.911
Límite Plástico								
No. Prueba	Capsula	Numero de golpes	Peso de Capsula +Suelo Húmedo (gr)	Peso capsula+suelo seco(gr)	Peso del Agua	Peso de la Capsula	Peso del Suelo Seco	Contenido de Agua %
1	10		26.3	21.5	4.8	8.35	13.15	36.502
2	125		24.63	20.37	4.26	8.55	11.82	36.041

Límite Líquido	54.226 %
Límite Plástico	36.271 %
Índice de Plasticidad	17.955 %

Fuente: Autores del Proyecto.

Gráfica 11:Datos de Límite Líquido Ensayo 2.



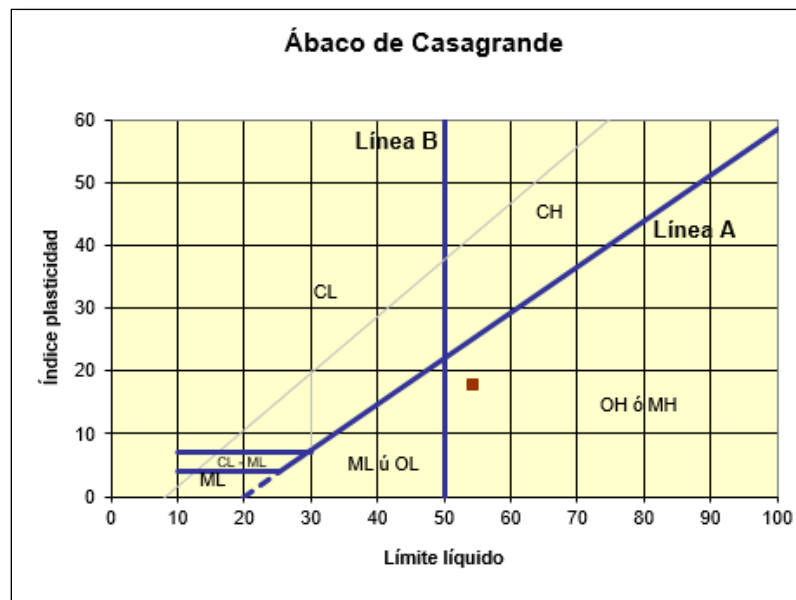
Fuente: Autores del Proyecto.

Un Índice de plasticidad elevado indica un exceso de arcilla en el suelo, también da una buena indicación de la compresibilidad, un índice de plasticidad del 17.95%, muestra que para que un suelo pase del estado semisólido al líquido, se le debe agregar gran cantidad de agua y representa un suelo limoso de alta plasticidad con Arena como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en la que se entra con los valores de Índice de plasticidad y límite líquido obtenidos en la Tabla 17.

CLASIFICACIÓN

- **Limos de Alta Plasticidad con Arena (MH):** Corresponde a la zona bajo la línea A, definida por un límite líquido mayor que 50% y un índice de plasticidad menor que 4%.

Figura 19: Carta de Plasticidad de Casagrande.



Fuente: Autores del Proyecto.

Muestra 4.

Tabla 18:Datos de Granulometría Ensayo 1.

Muestra 4				
Peso de la muestra humedad		1026.580	gr	
Peso de la muestra seca		795.600	gr	
Malla No	Abertura mm	Peso suelo retenido gr	Porcentaje ret parcial%	Porcentaje que pasa %
2	50.8	0	0.000	100.000
1 1/2	36.1	0	0.000	100.000
1	25.4	0	0.000	100.000
3/4	19.05	0	0.000	100.000
1/2	12.7	4.05	0.395	99.605
3/8	9.52	23.8	2.318	97.287
No 4	4.75	36.25	3.531	93.756
No 10	2	74.06	7.214	86.542
No 20	0.84	188.53	18.365	68.177
No 40	0.42	217	21.138	47.039
No 60	0.25	90.36	8.802	38.237
No 100	0.149	131.92	12.850	25.386
No 200	0.074	19.28	1.878	23.508
Pasa 200	10.25	241.33	23.508	0.000
Total		1026.58		

Gravas	3.531	%
Arenas	72.961	%
Limos	23.508	%

Fuente: Autores del Proyecto.

Gráfica 12: Curva Granulométrica Ensayo 1.

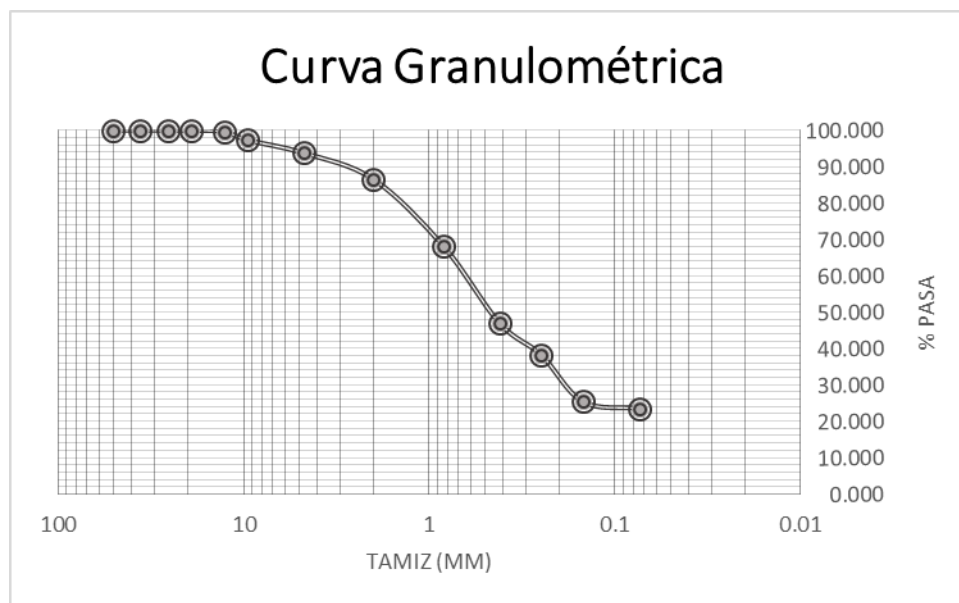


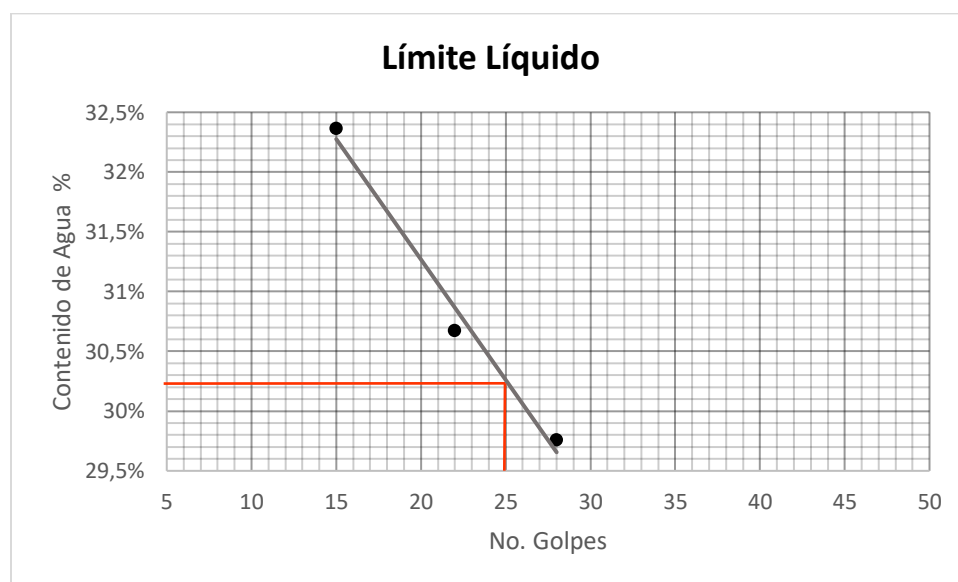
Tabla 19:Datos de Límite Líquido y Límite Plástico Ensayo 1.

Muestra 4								
Límite Líquido								
No. Prueba	Capsula	Numero de golpes	Peso de Capsula +Suelo Húmedo (gr)	Peso capsula+suelo seco(gr)	Peso del Agua	Peso de la Capsula	Peso del Suelo Seco	Contenido de Agua %
1	17	15	32.16	29.49	2.67	21.24	8.25	32.364
2	28	28	29.4	27.43	1.97	20.81	6.62	29.758
3	58	22	28.7	26.97	1.73	21.33	5.64	30.674
Límite Plástico								
No. Prueba	Capsula	Numero de golpes	Peso de Capsula +Suelo Húmedo (gr)	Peso capsula+suelo seco(gr)	Peso del Agua	Peso de la Capsula	Peso del Suelo Seco	Contenido de Agua %
1	50		15.85	15.03	0.82	10.24	4.79	17.119
2	61		27.71	26.77	0.94	21.73	5.04	18.651

Límite Líquido	30.262 %
Límite Plástico	17.885 %
Índice de Plasticidad	12.377 %

Fuente: Autores del Proyecto.

Gráfica 13:Datos de Límite Líquido Ensayo 1.



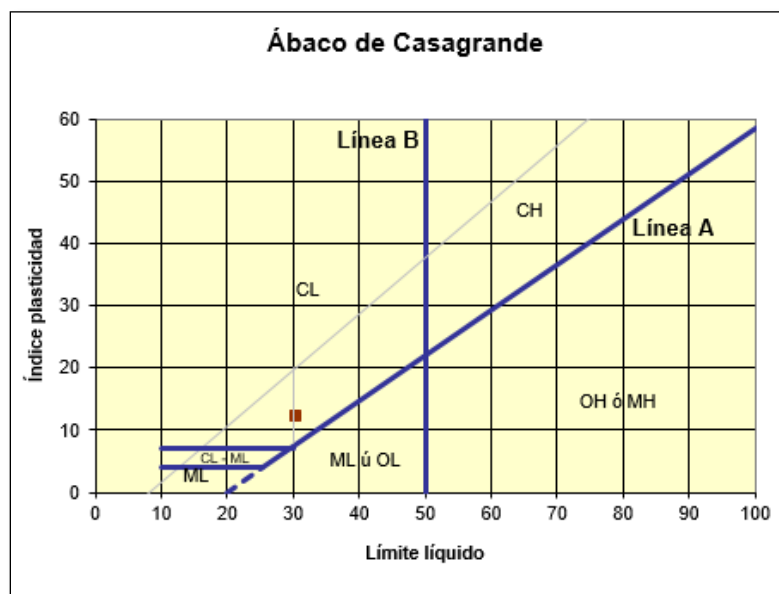
Fuente: Autores del Proyecto.

Un Índice de plasticidad elevado indica un exceso de arcilla en el suelo, también da una buena indicación de la compresibilidad, un índice de plasticidad del 12.37%, muestra que para que un suelo pase del estado semisólido al líquido, se le debe agregar gran cantidad de agua y representa un suelo arcilloso de plasticidad media como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en la que se entra con los valores de Índice de plasticidad y límite líquido obtenidos en la Tabla 19.

CLASIFICACIÓN

- **Arenas Arcillosas (SC):** Fracción de suelo que se ubica por encima de la línea A y el índice de plasticidad mayor a 7.

Figura 20: Carta de Plasticidad de Casagrande.



Fuente: Autora del Proyecto

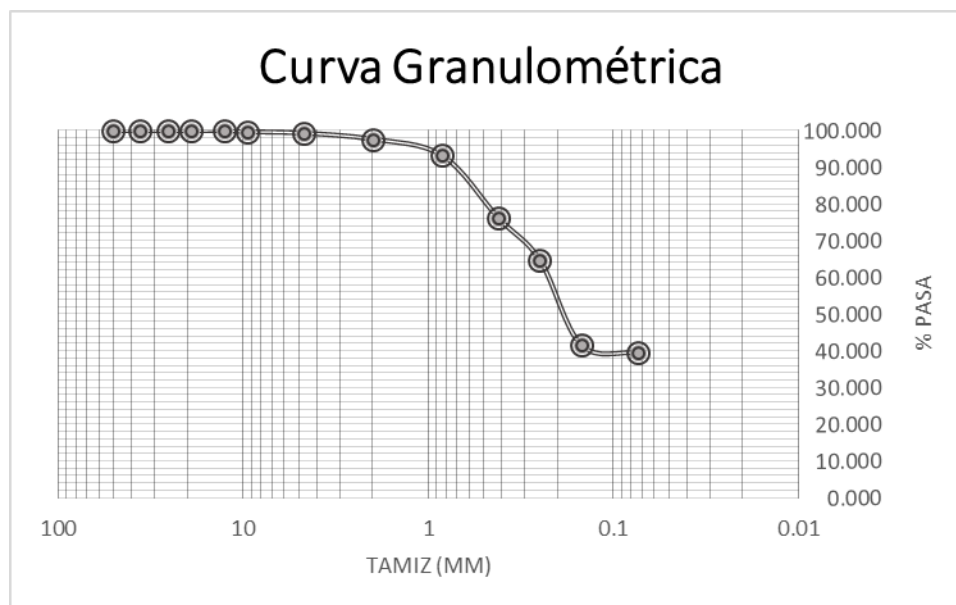
Tabla 20:Datos de Granulometría Ensayo 2.

Muestra 4				
Peso de la muestra humedad		812.050	gr	
Peso de la muestra seca		498.720	gr	
Malla No	Abertura mm	Peso suelo retenido gr	Porcentaje ret parcial%	Porcentaje que pasa %
2	50.8	0	0.000	100.000
1 1/2	36.1	0	0.000	100.000
1	25.4	0	0.000	100.000
3/4	19.05	0	0.000	100.000
1/2	12.7	0	0.000	100.000
3/8	9.52	2.57	0.316	99.684
No 4	4.75	3.03	0.373	99.310
No 10	2	13.36	1.645	97.665
No 20	0.84	36.18	4.455	93.210
No 40	0.42	137.63	16.948	76.261
No 60	0.25	93.17	11.473	64.788
No 100	0.149	188.9	23.262	41.526
No 200	0.074	17.3	2.130	39.395
Pasa 200	5.9	319.91	39.395	0.000
Total		812.05		

Gravas	0.373	%
Arenas	60.232	%
Limos	39.395	%

Fuente: Autores del Proyecto.

Gráfica 14:Curva Granulométrica Ensayo 2.



Fuente: Autores del Proyecto.

Al terminar los cálculos del ensayo de granulometría mostrados en la Tabla 20 se ha podido inferir acerca de la distribución y clasificación de la muestra, como:

- El 2.13% de la muestra, es Arena Fina, este porcentaje quedo retenido en el tamiz número 200.
- El 16.94% de la muestra es Arena Media, comparando la abertura del tamiz utilizado, en este caso el tamiz número 40 de la tabla anteriormente expuesta.
- El 39.39% de la muestra se considera Arcilla y/o Limo, ya este fue el porcentaje que quedo en el tamiz Pasa 200.
- El 1.64 de la muestra es considerada Arena gruesa, comparando la abertura del tamiz utilizado, en este caso el tamiz número 10 con la tabla anterior.

Luego de determinar los porcentajes de muestra que pasan por los tamices y ya conociendo las aberturas de estos, se pudo establecer una relación grafica de estos dos, como se observa en la Gráfica 14.

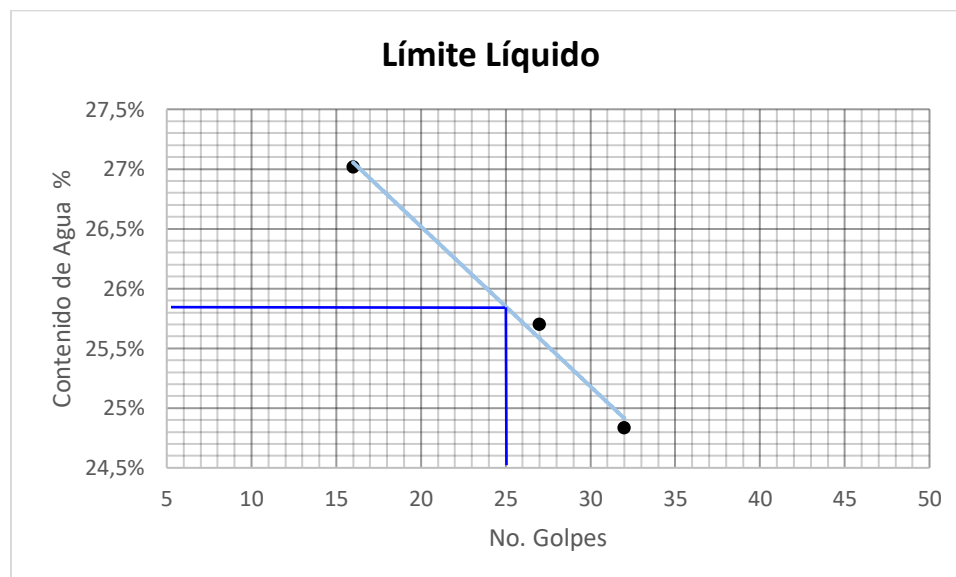
Tabla 21:Datos de Límite Líquido y Límite Plástico Ensayo 2.

Muestra 4								
Límite Líquido								
No. Prueba	Capsula	Numero de golpes	Peso de Capsula +Suelo Húmedo (gr)	Peso capsula+suelo seco(gr)	Peso del Agua	Peso de la Capsula	Peso del Suelo Seco	Contenido de Agua %
1	32	16	38.29	35.88	2.41	26.96	8.92	27.018
2	110	27	29.96	28.12	1.84	20.96	7.16	25.698
3	31	32	38.58	36.35	2.23	27.37	8.98	24.833
Límite Plástico								
No. Prueba	Capsula	Numero de golpes	Peso de Capsula +Suelo Húmedo (gr)	Peso capsula+suelo seco(gr)	Peso del Agua	Peso de la Capsula	Peso del Suelo Seco	Contenido de Agua %
1	30		28.49	28.26	0.23	26.83	1.43	16.084
2	21		25.05	24.35	0.7	20.76	3.59	19.499

Límite Líquido	25.851	%
Límite Plástico	17.791	%
Índice de Plasticidad	8.060	%

Fuente: Autores del Proyecto.

Gráfica 15:Datos de Límite Líquido Ensayo 2.



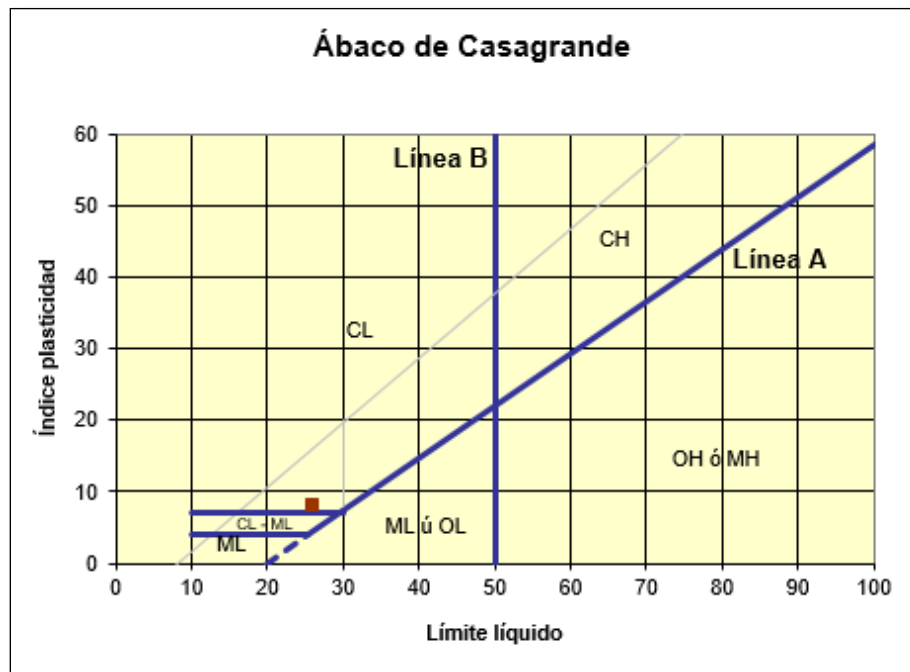
Fuente: Autores del Proyecto.

Un Índice de plasticidad elevado indica un exceso de arcilla en el suelo, también da una buena indicación de la compresibilidad, un índice de plasticidad del 8.06%, muestra que para que un suelo pase del estado semisólido al líquido, se le debe agregar gran cantidad de agua y representa un suelo arcilloso de plasticidad baja como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en la que se entra con los valores de Índice de plasticidad y límite líquido obtenidos en la Tabla 21.

CLASIFICACIÓN

- **Arenas Arcillosas (SC):** Fracción de suelo que se ubica por encima de la línea A y el índice de plasticidad mayor a 7.

Figura 21: Carta de Plasticidad de Casagrande.



Fuente: Autores del Proyecto.

Muestra 5.

Tabla 22:Datos de Granulometría Ensayo 1.

Muestra 5				
Peso de la muestra humedad		651.300	gr	
Peso de la muestra seca		525.410	gr	
Malla No	Abertura mm	Peso suelo retenido gr	Porcentaje ret parcial%	Porcentaje que pasa %
2	50.8	0	0.000	100.000
1 1/2	36.1	0	0.000	100.000
1	25.4	0	0.000	100.000
3/4	19.05	0	0.000	100.000
1/2	12.7	4.1	0.630	99.370
3/8	9.52	7.43	1.141	98.230
No 4	4.75	8.27	1.270	96.960
No 10	2	26.7	4.099	92.860
No 20	0.84	56.69	8.704	84.156
No 40	0.42	144.42	22.174	61.982
No 60	0.25	129.93	19.949	42.033
No 100	0.149	128.6	19.745	22.288
No 200	0.074	14.75	2.265	20.023
Pasa 200	8.97	130.41	20.023	0.000
Total		651.3		

Gravas	1.270	%
Arenas	78.707	%
Limos	20.023	%

Fuente: Autores del Proyecto.

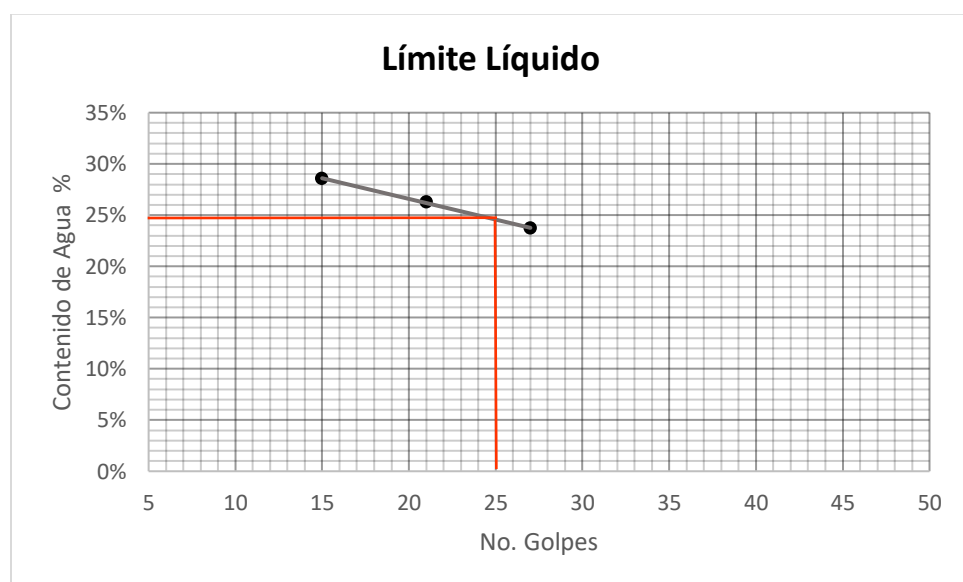
Tabla 23:Datos de Límite Líquido y Límite Plástico Ensayo 1.

Muestra 5								
Límite Líquido								
No. Prueba	Capsula	Numero de golpes	Peso de Capsula +Suelo Húmedo (gr)	Peso capsula+suelo seco(gr)	Peso del Agua	Peso de la Capsula	Peso del Suelo Seco	Contenido de Agua %
1	25	27	32.1	27.9	4.2	10.2	17.7	23.729
2	36	21	26.2	22.5	3.7	8.4	14.1	26.241
3	11	15	27.4	23.2	4.2	8.5	14.7	28.571
Límite Plástico								
No. Prueba	Capsula	Numero de golpes	Peso de Capsula +Suelo Húmedo (gr)	Peso capsula+suelo seco(gr)	Peso del Agua	Peso de la Capsula	Peso del Suelo Seco	Contenido de Agua %
1	57		21.2	19.5	1.7	8.6	10.9	15.596
2	23		22.6	20.7	1.9	8.3	12.4	15.323

Límite Líquido	24.565 %
Límite Plástico	15.323 %
Índice de Plasticidad	9.242 %

Fuente: Autores del Proyecto.

Gráfica 17:Datos de Límite Líquido Ensayo 1.



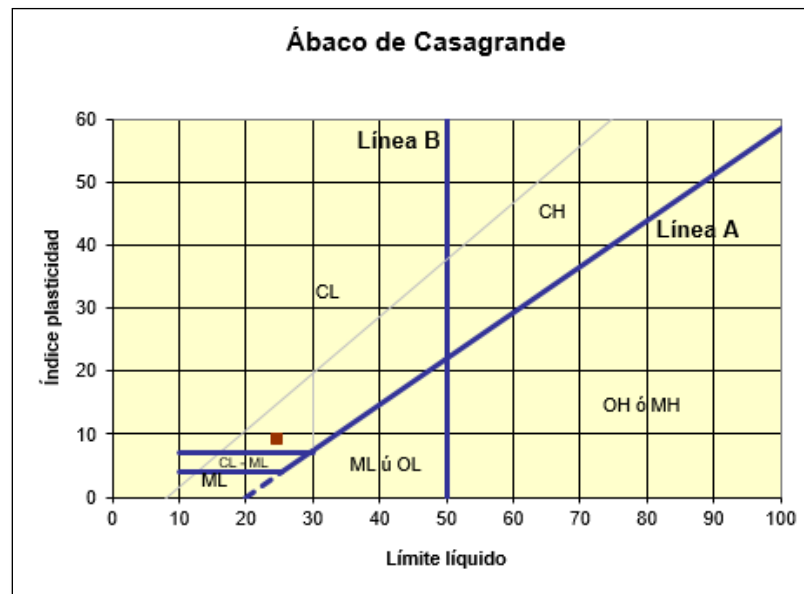
Fuente: Autores del Proyecto.

Un Índice de plasticidad elevado indica un exceso de arcilla en el suelo, también da una buena indicación de la compresibilidad, un índice de plasticidad del 9.24%, muestra que para que un suelo pase del estado semisólido al líquido, se le debe agregar gran cantidad de agua y representa un suelo arcilloso de plasticidad baja como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en la que se entra con los valores de Índice de plasticidad y límite líquido obtenidos en la Tabla 23.

CLASIFICACIÓN

- **Arenas Arcillosas (SC):** Fracción de suelo que se ubica por encima de la línea A y el índice de plasticidad mayor a 7.

Figura 22: Carta de Plasticidad de Casagrande.



Fuente: Autores del Proyecto.

Tabla 24:Datos de Granulometría Ensayo 2.

Muestra 5				
Peso de la muestra humedad		966.680	gr	
Peso de la muestra seca		646.650	gr	
Malla No	Abertura mm	Peso suelo retenido gr	Porcentaje ret parcial%	Porcentaje que pasa %
2	50.8	0	0.000	100.000
1 1/2	36.1	0	0.000	100.000
1	25.4	0	0.000	100.000
3/4	19.05	0	0.000	100.000
1/2	12.7	0	0.000	100.000
3/8	9.52	1.53	0.158	99.842
No 4	4.75	10.16	1.051	98.791
No 10	2	47.3	4.893	93.898
No 20	0.84	78.78	8.150	85.748
No 40	0.42	132.3	13.686	72.062
No 60	0.25	142.4	14.731	57.331
No 100	0.149	204.84	21.190	36.141
No 200	0.074	22.05	2.281	33.860
Pasa 200	7.04	327.32	33.860	0.000
Total		966.68		

Gravas	1.051	%
Arenas	65.089	%
Limos	33.860	%

Fuente: Autores del Proyecto.

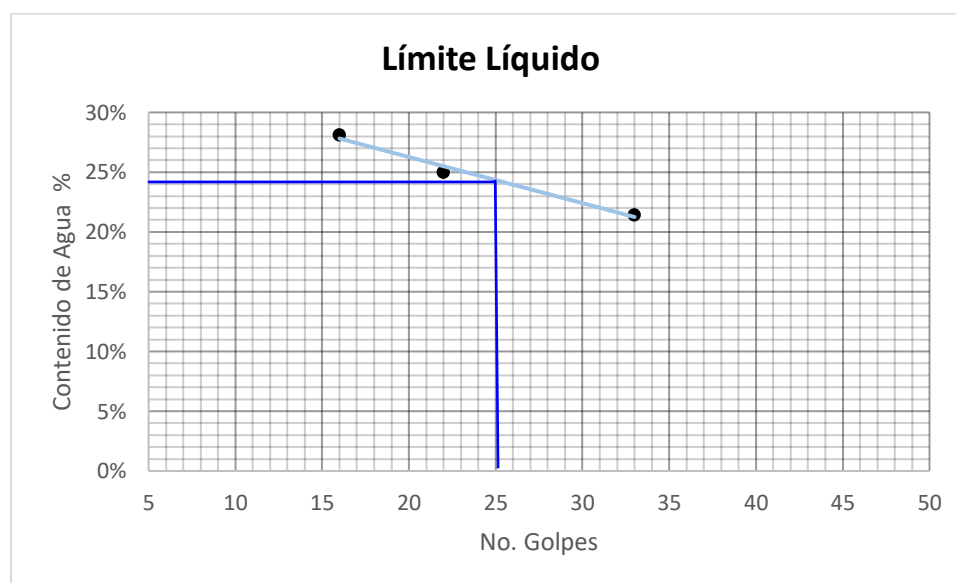
Tabla 25:Datos de Límite Líquido y Límite Plástico Ensayo 2.

Muestra 5								
Límite Líquido								
No. Prueba	Capsula	Numero de golpes	Peso de Capsula +Suelo Húmedo (gr)	Peso capsula+suelo seco(gr)	Peso del Agua	Peso de la Capsula	Peso del Suelo Seco	Contenido de Agua %
1	17	33	30.5	26.6	3.9	8.4	18.2	21.429
2	8	22	25.3	22.3	3	10.3	12	25.000
3	10	16	28.2	24.05	4.15	9.3	14.75	28.136
Límite Plástico								
No. Prueba	Capsula	Numero de golpes	Peso de Capsula +Suelo Húmedo (gr)	Peso capsula+suelo seco(gr)	Peso del Agua	Peso de la Capsula	Peso del Suelo Seco	Contenido de Agua %
1	21		22.3	20.6	1.7	10.3	10.3	16.505
2	3		21.5	19.9	1.6	9.5	10.4	15.385

Límite Líquido	24.341 %
Límite Plástico	15.945 %
Índice de Plasticidad	8.396 %

Fuente: Autores del Proyecto

Gráfica 19:Datos de Límite Líquido Ensayo 2.



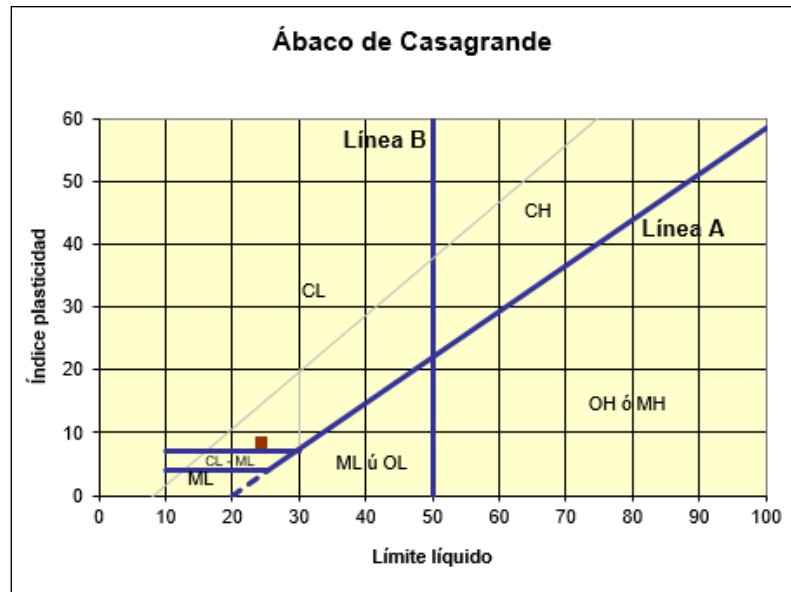
Fuente: Autores del Proyecto.

Un Índice de plasticidad elevado indica un exceso de arcilla en el suelo, también da una buena indicación de la compresibilidad, un índice de plasticidad del 8.39%, muestra que para que un suelo pase del estado semisólido al líquido, se le debe agregar gran cantidad de agua y representa un suelo arcilloso de plasticidad baja como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en la que se entra con los valores de Índice de plasticidad y límite líquido obtenidos en la Tabla 25.

CLASIFICACIÓN

- **Arenas Arcillosas (SC):** Fracción de suelo que se ubica por encima de la línea A y el índice de plasticidad mayor a 7.

Figura 23: Carta de Plasticidad de Casagrande.



Fuente: Autores del Proyecto.

6.3. PERMEABILIDAD DE CABEZA VARIABLE

Los ensayos de permeabilidad fueron realizados a las muestras 3, muestra 4 y muestra 5 debido a la poca disposición y tiempo de uso del laboratorio, se determinó por parte de los autores del proyecto de realizar los ensayos a estas muestras ya que son representativas en el talud.

Tabla 26:Datos de Permeabilida de Cabeza Variable Ensayo 1.

CABEZA VARIABLE -MUESTRA 3							
MOLDE				PROBETA			
Diámetro D(cm)	6.35	Altura H(cm)	2.5	Diámetro D(cm)	0.91	Peso Suelo Húmedo (g)	226
Área A(cm ²)	31.67	Volumen V(cm ³)	79.17	Área a(cm ²)	0.65	Peso Específico(g/cm ³)	2.85
ENSAYO No.	h1 (cm)	h2 (cm)	t(seg)	T (°C)	KT(cm/seg)	nT/n20	K20(cm/seg)
1	71	70.9	3600	25	2.007E-08	0.8893	1.785E-08
2	71	70.9	3600	25	2.007E-08	0.8893	1.785E-08
3	71	70.9	3600	25	2.007E-08	0.8893	1.785E-08
4	71	70.9	3600	25	2.007E-08	0.8893	1.785E-08
PROMEDIO		70.9			2.0067E-08	0.8893	1.7845E-08

Fuente: Autores del Proyecto.

Tabla 27:Datos de Permeabilida de Cabeza Variable Ensayo 1.

CABEZA VARIABLE -MUESTRA 4							
MOLDE				PROBETA			
Diámetro D(cm)	6.35	Altura H(cm)	2.5	Diámetro D(cm)	0.91	Peso Suelo Húmedo (g)	157.57
Área A(cm ²)	31.67	Volumen V(cm ³)	79.17	Área a(cm ²)	0.65	Peso Específico(g/cm ³)	1.99
ENSAYO No.	h1 (cm)	h2 (cm)	t(seg)	T (°C)	KT(cm/seg)	nT/n20	K20(cm/seg)
1	70	60	40	25	1.975E-04	0.8893	1.757E-04
2	70	60	40	25	1.975E-04	0.8893	1.757E-04
3	70	59.9	40	25	1.997E-04	0.8893	1.776E-04
4	70	59.5	40	25	2.082E-04	0.8893	1.852E-04
PROMEDIO		59.85			2.0076E-04	0.8893	1.7851E-04

Fuente: Autores del Proyecto.

Tabla 28:Datos de Permeabilida de Cabeza Variable Ensayo 1.

CABEZA VARIABLE -MUESTRA 5							
MOLDE				PROBETA			
Diámetro D(cm)	6.31	Altura H(cm)	2.5	Diámetro D(cm)	0.91	Peso Suelo Húmedo (g)	153.98
Área A(cm ²)	31.27	Volumen V(cm ³)	78.18	Área a(cm ²)	0.65	Peso Específico(g/cm ³)	1.97
ENSAYO No.	h1 (cm)	h2 (cm)	t(seg)	T (°C)	KT(cm/seg)	nT/n20	K20(cm/seg)
1	71	67.7	180	25	1.355E-05	0.8893	1.205E-05
2	71	67.5	180	25	1.439E-05	0.8893	1.280E-05
3	71	67.8	180	25	1.313E-05	0.8893	1.168E-05
4	71	67.7	180	25	1.355E-05	0.8893	1.205E-05
PROMEDIO		67.675			1.3658E-05	0.8893	1.2146E-05

Fuente: Autores del Proyecto.

Tabla 29:Datos de Permeabilida de Cabeza Variable Ensayo 2.

CABEZA VARIABLE -MUESTRA 3							
MOLDE				PROBETA			
Diámetro D(cm)	6.31	Altura H(cm)	2.5	Diámetro D(cm)	0.91	Peso Suelo Húmedo (g)	210
Área A(cm ²)	31.27	Volumen V(cm ³)	78.18	Área a(cm ²)	0.65	Peso Específico(g/cm ³)	2.69
ENSAYO No.	h1 (cm)	h2 (cm)	t(seg)	T (°C)	KT(cm/seg)	nT/n20	K20(cm/seg)
1	70	69.9	3600	25	2.035E-08	0.8893	1.810E-08
2	70	69.9	3600	25	2.035E-08	0.8893	1.810E-08
3	70	69.9	3600	25	2.035E-08	0.8893	1.810E-08
4	70	69.9	3600	25	2.035E-08	0.8893	1.810E-08
PROMEDIO		69.9			2.0353E-08	0.8893	1.81E-08

Fuente: Autores del Proyecto.

Tabla 30:Datos de Permeabilida de Cabeza Variable Ensayo 2.

CABEZA VARIABLE -MUESTRA 4							
MOLDE				PROBETA			
Diámetro D(cm)	6.35	Altura H(cm)	2.5	Diámetro D(cm)	0.91	Peso Suelo Húmedo (g)	157.57
Área A(cm ²)	31.67	Volumen V(cm ³)	79.17	Área a(cm ²)	0.65	Peso Específico(g/cm ³)	1.99
ENSAYO No.	h1 (cm)	h2 (cm)	t(seg)	T (°C)	KT(cm/seg)	nT/n20	K20(cm/seg)
1	70	60.3	40	25	1.911E-04	0.8893	1.700E-04
2	70	60.1	40	25	1.954E-04	0.8893	1.738E-04
3	70	60.4	40	25	1.890E-04	0.8893	1.681E-04
4	70	60.5	40	25	1.869E-04	0.8893	1.662E-04
PROMEDIO		60.325			1.9060E-04	0.8893	1.6950E-04

Fuente: Autores del Proyecto.

Tabla 31:Datos de Permeabilida de Cabeza Variable Ensayo 2.

CABEZA VARIABLE -MUESTRA 5							
MOLDE				PROBETA			
Diámetro D(cm)	6.35	Altura H(cm)	2.5	Diámetro D(cm)	0.91	Peso Suelo Húmedo (g)	223.6
Área A(cm ²)	31.67	Volumen V(cm ³)	79.17	Área a(cm ²)	0.65	Peso Específico(g/cm ³)	2.82
ENSAYO No.	h1 (cm)	h2 (cm)	t(seg)	T (°C)	KT(cm/seg)	nT/n20	K20(cm/seg)
1	71	67.6	180	25	1.397E-05	0.8893	1.243E-05
2	71	67.7	180	25	1.355E-05	0.8893	1.205E-05
3	71	67.6	180	25	1.397E-05	0.8893	1.243E-05
4	71	67.8	180	25	1.313E-05	0.8893	1.168E-05
PROMEDIO		67.675			1.3657E-05	0.8893	1.2146E-05

Fuente: Autores del Proyecto.

Las capacidades de infiltración varían de 2 a 2.500 milímetros por hora, dependiendo de la cobertura vegetal, pendiente, textura del suelo, humedad natural entre otros. Los suelos más permeables son las gravas y arenas (Tabla 32) que poseen una mayor capacidad de infiltración. [1]

Tabla 32:Coeficientes de permeabilidad y capacidad de Infiltración.

Suelo	Permeabilidad K cm/seg	Capacidad de Infiltración mm/hora
Arcillas	$<10 \times 10^{-9}$	0.25 a 2.5
Limos	1×10^{-9} a 1×10^{-7}	2.5 a 8
Arena Finas	1×10^{-7} a 1×10^{-5}	8 a 13
Arenas Gruesas	1×10^{-5} a 1×10^{-2}	13 a 20
Gravas	$>1 \times 10^{-2}$	20 a 30

Fuente: Jaime Suarez, Control de Erosión

La permeabilidad tiene un efecto decisivo sobre el costo y las dificultades a encontrar en muchas operaciones constructivas de allí la importancia de realizar este estudio en los suelos presentes en el talud, La Tabla 33 resume los resultados y el nivel de permeabilidad de las muestras.

Tabla 33:Resumen de Resultados de Permeabilidad.

Resultados de Permeabilidad				
Muestra	Clasificación	Ensayo 1	Ensayo 2	
3	MH	1.78452E-08	1.81003E-08	BAJA
4	SC	1.78515E-04	1.69503E-04	ALTA
5	SC	1.21457E-05	1.21456E-05	ALTA

Fuente: Autores del Proyecto.

Las permeabilidades altas de las muestras 4 y 5, cuyos estratos son los superiores, genera el efecto negativo en el talud, ocasionando erosión en los materiales.

6.4. CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO

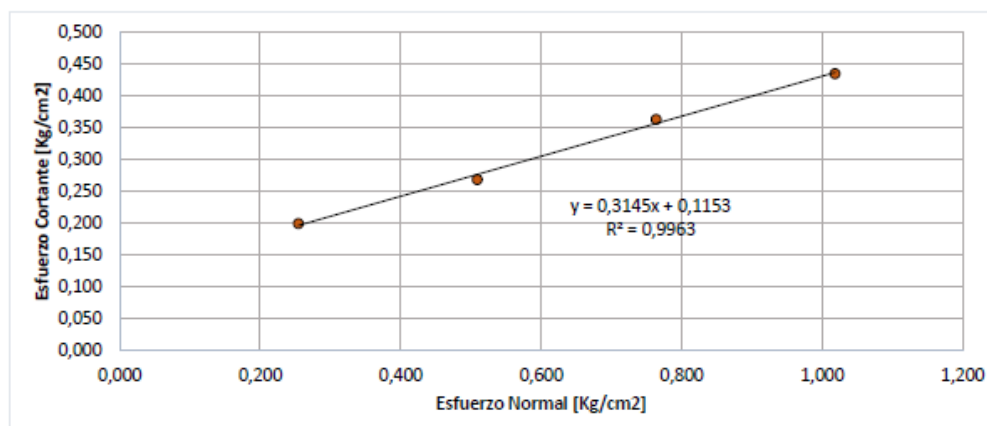
Este método de Corte Directo Consolidado Drenado describe y regula el método de ensayo para la determinación de la resistencia al corte de una muestra de suelo, sometida previamente a un proceso de consolidación, cuando se le aplica un esfuerzo de corte directo mientras se permite un drenaje completo de ella. El ensayo se lleva a cabo deformando una muestra a velocidad controlada, cerca de un plano de corte determinado por la configuración del aparato. Generalmente se ensayan los especímenes, cada uno bajo una carga normal diferente para determinar su efecto sobre la resistencia al corte y al desplazamiento y las propiedades de resistencia a partir de las envolventes de resistencia de Mohr.

La ejecución de este ensayo en el Laboratorio de la Universidad fue imposible debido a los inconvenientes presentados para el uso de los dispositivos necesarios para llevar a cabo dicho ensayo.

Por estas razones se tomó la decisión de recurrir a una empresa ajena a la universidad para la realización de dicho ensayo, al igual que en permeabilidad se decidió efectuar el ensayo solo a la muestra 3, muestra 4 y muestra 5 para optimizar recursos y tiempo.

Los resultados se muestran en las **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

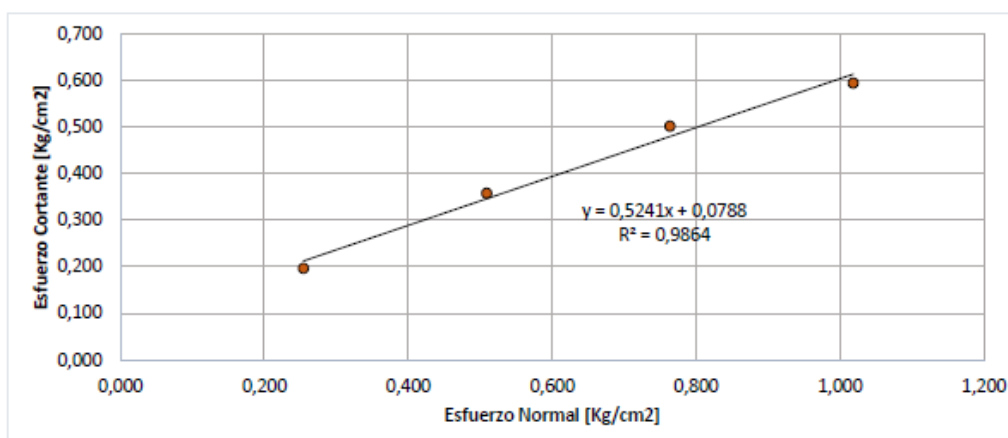
Figura 24:Resultados de Corte Directo de la Muestra 3 (Limos de Alta Plasticidad con Arena (MH))



RESULTADOS		DENSIDAD	
Fricción ϕ	17	Punto 1	1,55 gr/cm3
		Punto 2	1,57 gr/cm3
Cohesión	0,12 Kg/cm2	Punto 3	1,57 gr/cm3
		Punto 4	1,59 gr/cm3

Fuente: Autores del Proyecto.

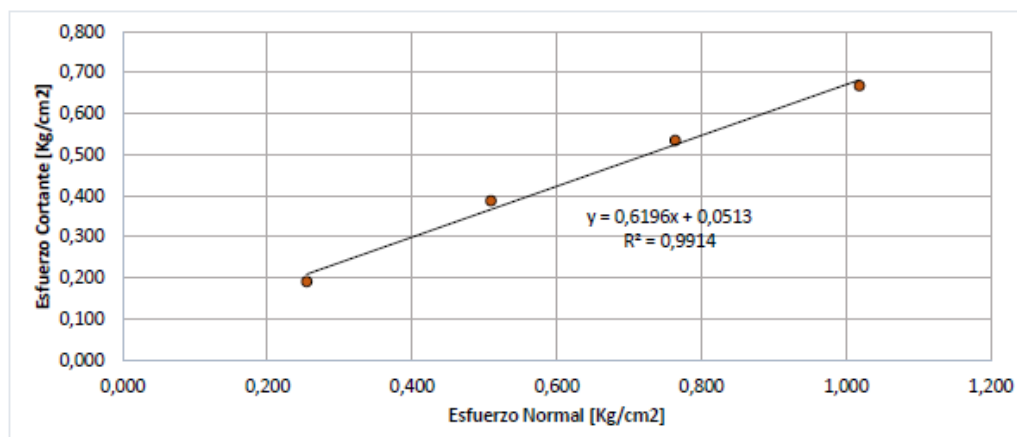
Figura 25:Resultados de Corte Directo de la Muestra 4 (Arenas Arcillosas (SC))



RESULTADOS		DENSIDAD	
Fricción ϕ	28	Punto 1	1,70 gr/cm3
		Punto 2	1,71 gr/cm3
Cohesión	0,08 Kg/cm2	Punto 3	1,71 gr/cm3
		Punto 4	1,72 gr/cm3

Fuente: Autores del Proyecto.

Figura 26:Resultados de Corte Directo de la Muestra 5 (Arenas Arcillosas (SC))



RESULTADOS		DENSIDAD	
Fricción ϕ	32	Punto 1	1,69 gr/cm3
		Punto 2	1,71 gr/cm3
Cohesión	0,05 Kg/cm2	Punto 3	1,72 gr/cm3
		Punto 4	1,72 gr/cm3

Fuente: Autores del Proyecto.

Se puede observar que los suelos tienen propiedades a los esfuerzos cortantes cuyos parámetros se ven afectados debido al agua que se está infiltrando, es por eso por lo que el suelo al entrar en contacto con el agua pierde resistencia y empieza a segregarse lo que ocasiona que se genere la erosión tipo cárcavas en el talud.

En la Tabla 34 se presenta el resumen de los resultados obtenidos de Fricción y Cohesión.

Tabla 34:Resumen de resultados de Corte Directo

Muestra	Corte Directo	
	Fricción ϕ	Cohesión (Kg/cm²)
3	17	0.12
4	28	0.08
5	32	0.05

Fuente: Autores del Proyecto.

6.5. PESO UNITARIO DEL SUELO

Los valores de los pesos unitario de los suelos fueron necesarios para realizar la modelación y establecer el factor de seguridad del talud, el método de análisis de estabilidad trabaja es conocido como el método de las dovelas, donde es necesario conocer los pesos de cada tipo de suelo por unidad de medida.

Los pesos unitarios de Suelo estuvieron en el rango de 1.203 a 1.599 gr/cm³.

Tabla 35:Datos de Peso Unitario del Suelo.

PESO UNITARIO DEL SUELO										
Muestra	Capsula	Peso de Capsula+Suelo Húmedo (gr)	Peso capsula+suelo seco(gr)	Peso de la Capsula	Contenido de Agua %	D(cm)	H(cm)	V(cm³)	Yh(gr/cm³)	Ys(gr/cm³)
3	55	32.6	25.5	8.5	41.76	3.00	2.00	14.14	1.705	1.203
4	104	33.5	31.6	8.4	8.19	3.00	2.00	14.14	1.775	1.641
5	92	31.4	29.5	6.9	8.41	3.00	2.00	14.14	1.733	1.599

Fuente: Autores del Proyecto.

Tabla 36:Resumen de Resultados de los Ensayos de Limites.

MUESTRA	CLASIFICACION		LIMITES DE CONSISTENCIA					
			ENSAYO 1			ENSAYO 2		
	ENSAYO 1	ENSAYO 2	LL	LP	IP	LL	LP	IP
1	SC	SC	37.866	18.668	19.198	43.342	12.464	30.878
2	SC	SC	45.942	16.704	29.238	45.238	17.396	27.842
3	MH	MH	53.365	36.373	16.992	54.226	36.271	17.955
4	SC	SC	30.262	17.885	12.377	25.851	17.791	8.06
5	SC	SC	24.565	15.323	9.242	24.341	15.945	8.396

Fuente: Autores del Proyecto.

Tabla 37:Resumen de Resultados de los Ensayos de Granulometria.

MUESTRA	CLASIFICACION		GRANULOMETRIA					
			ENSAYO 1			ENSAYO 2		
	ENSAYO 1	ENSAYO 2	GRAVAS %	ARENAS %	LIMOS %	GRAVAS %	ARENAS %	LIMOS %
1	SC	SC	0.016	78.161	21.824	2.642	69.106	28.253
2	SC	SC	1.468	62.521	36.023	0.612	60.301	39.088
3	MH	MH	1.2	14.589	84.211	0.161	15.367	84.472
4	SC	SC	3.531	72.961	23.508	0.373	60.232	39.395
5	SC	SC	1.27	78.707	20.023	1.051	65.089	33.86

Fuente: Autores del Proyecto.

Tabla 38:Resumen de Resultados de los Ensayos de Humedad Natural y Permeabilidad.

MUESTRA	CLASIFICACION		HUMEDAD NATURAL		PERMEABILIDAD	
	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 1	ENSAYO 2
1	SC	SC	8.921	9.474	-	-
2	SC	SC	9.223	8.445	-	-
3	MH	MH	18.755	13.929	1.7845E-08	1.8100E-08
4	SC	SC	8.271	5.138	1.7851E-04	1.6950E-04
5	SC	SC	11.299	10.108	1.2146E-05	1.2146E-05

Fuente: Autores del Proyecto.

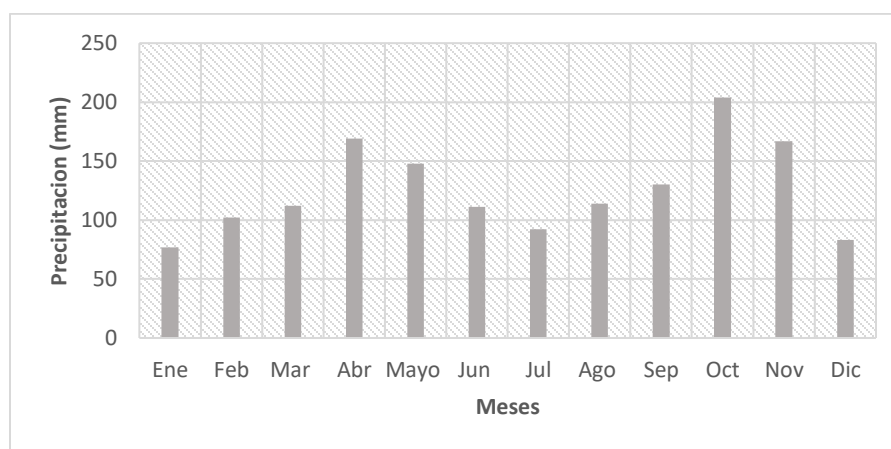
Hay dos causas principales que ocasionan la erosión de los taludes: las causas naturales y las causas generadas por la actividad humana. La erosión juega un papel importante en la estabilidad de los taludes, en ocasiones la erosión causa y/o agrava la estabilidad de los taludes.

En la visita de inspección preliminar al talud estudiado, con el objeto de determinar las características físicas, geológicas y geotécnicas generales del lote; se hace visible como las lluvias han erosionado el talud, y se evidencian las modificaciones que se han realizado a la pendiente del talud.

La zona donde se encuentra ubicado el predio, en la actualidad presenta dos temporadas secas y dos temporadas de lluvias, los periodos más lluviosos van de marzo a mayo y de septiembre a noviembre dentro de los cuales puede llover de 17 a 19 días/mes y por periodos iguales o superiores a 8 horas de lluvia continua.

Como se pudo evidenciar en la gráfica de los registros de lluvia del año 2016 tomado del IDEAM, el año inmediatamente anterior se presentó un total de lluvias de 1509 mm.

Figura 27:Precipitaciones del Año 2016.



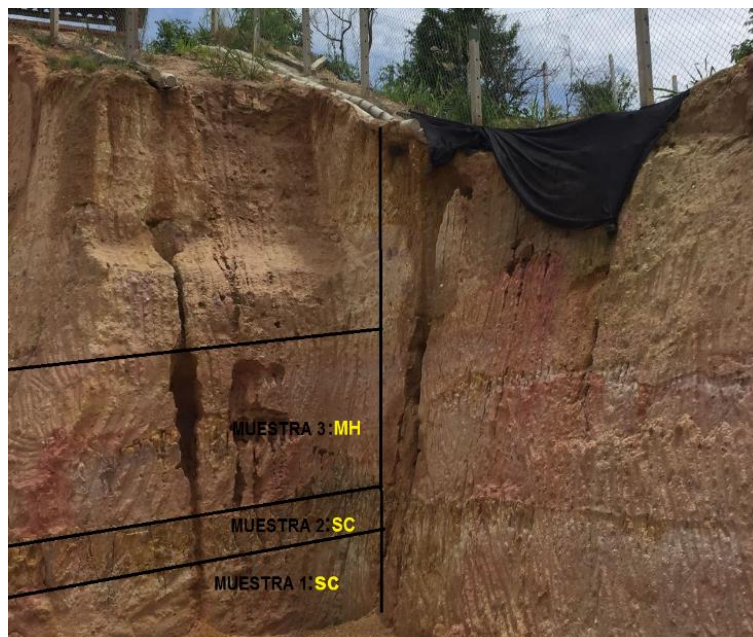
Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

Es importante tener presente los cambios climáticos ya que son las modificaciones al sistema normal de precipitaciones debida a fenómenos globales, como es el caso del fenómeno del niño, permite la ocurrencia de temporadas secas en zonas normalmente lluviosas y lluvia excepcionales en zonas semi áridas, generando excepcionales en zonas semi áridas, generando problemas acelerados de erosión o avalanchas. En ocasiones causan gran cantidad de deslizamientos inundaciones y daños a las obras de infraestructura, especialmente en las carreteras y los puentes. Estas anomalías activan focos de erosión.

La erosión se incrementa conforme la precipitación lo hace, una vez este valor es superado, el efecto de protección ofrecido por la cubierta vegetal que se beneficia de una mayor precipitación se traduce en menores pérdidas de suelo, caso contrario a lo que ocurre en el talud de estudio ya que este no posee cubierta vegetal debido a la intervención que ha tenido para realizar modificaciones de pendiente.

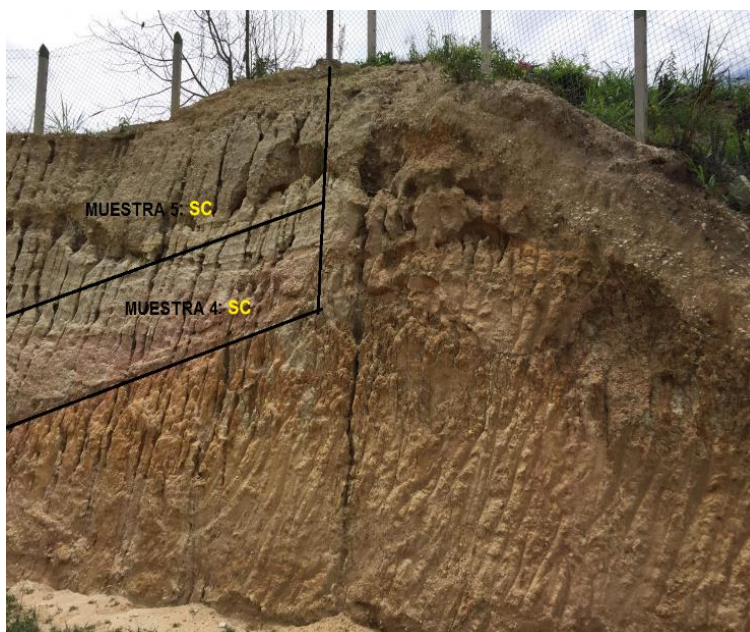
De los ensayos del laboratorio se identificó la presencia de Arenas Arcillosas (SC) y Limos de Alta Plasticidad con Arena (MH) como lo muestra la Imagen 6 e Imagen 7, de todos los tipos de suelos, los suelos arenosos son los más porosos por ende estos materiales presentan una permeabilidad alta.

Imagen 6: Muestras tomadas y su clasificación.



Fuente: Autores del Proyecto.

Imagen 7: Muestras tomadas y su clasificación.



Fuente: Autores del Proyecto.

Con los resultados obtenidos se esclarece el porqué de la evolución de la erosión presente en el talud, los factores naturales y la actividad humana juegan un papel importante, ya que en los estratos que son Arenas Arcillosas (SC) es más evidente la erosión. El talud de estudio está formado principalmente por suelos arenosos. La permeabilidad en estos suelos es alta, es decir la rapidez y facilidad con la que el agua se infiltra por los poros del suelo es rápida, generando así, que las partículas de suelo se suelten y se reacomoden haciendo que se formen pequeños canales creando una serie de surcos, los cuales con las lluvias y el tiempo se profundizan estableciendo así largos y profundos surcos, que con el paso del tiempo, se convierten en cárcavas y si no se les realiza un tratamiento temprano puede generar inestabilidad en el talud, hecho que se está haciendo evidente en el talud de estudio y por eso se vio la necesidad de intervenirlo para ayudar a controlar la erosión que está afectando al talud.

Finalmente, y sintetizando lo antes dicho, se espera que se genere erosión en los suelos con un contenido alto de arenas sobre el talud, factores como las lluvias que se han presentado, la geometría del talud y la carencia de vegetación han generado erosión y está a llevado a la evolución de los surcos presentes en el talud.

7. MODELACIÓN DEL TALUD

La modelación se hace con el fin de conocer las condiciones iniciales del talud antes de recomendar algún tipo de metodología para intervenir el talud.

Para realizar la modelación del talud se utilizó el Software.

El software de análisis de Estabilidad de Taludes en 2D que utiliza métodos de equilibrio límite para el cálculo de la estabilidad.

Su ámbito de aplicación en minería y obra civil es muy variado, permitiendo evaluar un gran número de problemáticas geotécnicas, tales como estabilidad de terraplenes, presas, taludes en excavaciones mineras o en edificaciones, efectos de cargas externas, sísmicas, eficiencia de elementos de refuerzo, etc.

Para hacer más práctica y perceptible la modelación del talud se decidió dividirla en dos zonas como se ilustra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** En la zona 2 se registra la presencia de una carga muerta (kiosco) en la cresta del talud de aproximadamente 20 kN/m^2 .

Figura 28: Delimitación de las zonas para la modelación del talud.



Fuente: Autores del Proyecto.

Para realizar la modelación en Software se tuvo en cuenta:

1. Parámetros establecidos en el laboratorio (Tabla 39)
 - ✓ Corte Directo: Cohesión y Angulo de fricción
 - ✓ Peso unitario

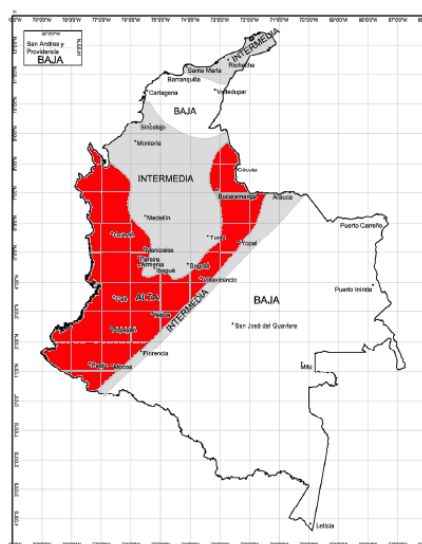
Tabla 39: Resultados de Corte Directo y Peso Unitario.

Muestra	Corte Directo		Peso Unitario
	Fricción ϕ	Cohesión (Kg/cm ²)	γ_s (gr/cm ³)
3	17	0.12	1.203
4	28	0.08	1.641
5	32	0.05	1.599

Fuente: Autores del Proyecto

2. Aunque el programa permite trabajar con diferentes métodos de análisis para el caso de esta modelación se trabajó con el método de MOHR –COULOMB
3. Siendo la norma técnica colombiana encargada de reglamentar las condiciones con las que deben contar las construcciones, se tomó la siguiente información del Reglamento **Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)**:
 - ✓ Zona de amenaza sísmica: Alta → ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.
 - ✓ Aceleración Horizontal → Tabla 40
 - ✓ Factores de seguridad → Tabla 41

Figura 29: Zona de amenaza sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10.



Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)-
Título A.

Tabla 40: Valores para las capitales de los Departamentos.

Ciudad	Aa	Av	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.1	0.1	Baja
Bogotá D.C.	0.15	0.2	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta
Cali	0.25	0.25	Alta
Cartagena	0.1	0.1	Baja
Cúcuta	0.35	0.3	Alta
Florencia	0.2	0.15	Intermedia
Ibagué	0.2	0.2	Intermedia
Leticia	0.05	0.05	Baja
Manizales	0.25	0.25	Alta
Medellín	0.15	0.2	Intermedia
Mitú	0.05	0.05	Baja
Mocoa	0.3	0.25	Alta
Montería	0.1	0.15	Intermedia
Neiva	0.25	0.25	Alta
Pasto	0.25	0.25	Alta
Pereira	0.25	0.25	Alta
Popayán	0.25	0.2	Alta
Puerto Carreño	0.25	0.05	Baja
Puerto Inírida	0.05	0.05	Baja
Quibdó	0.05	0.35	Alta

Riohacha	0.1	0.15	Intermedia
San Andrés, Isla	0.1	0.1	Baja
Santa Marta	0.15	0.1	Intermedia
San José de Guaviare	0.05	0.05	Baja
Sincelejo	0.1	0.15	Intermedia
Tunja	0.2	0.2	Intermedia
Valledupar	0.1	0.1	Baja
Villavicencio	0.35	0.3	Alta
Yopal	0.3	0.2	Alta

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)-
Titulo A.

Tabla 41:Factores de seguridad minimos Basicos.

Condición	F _{SBM}		F _{SBUM}	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Normal	1.5	1.25	1.8	1.4
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1.25	1.1	1.4	1.15
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo Estático	1.1	1.00(*)	No se permite	No se permite
Taludes- Condiciones Estática y Agua Subterránea Normal	1.5	1.25	1.8	1.4
Taludes- condiciones Seudo-estática con Agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño	1.05	1.00(*)	No se permite	No se permite

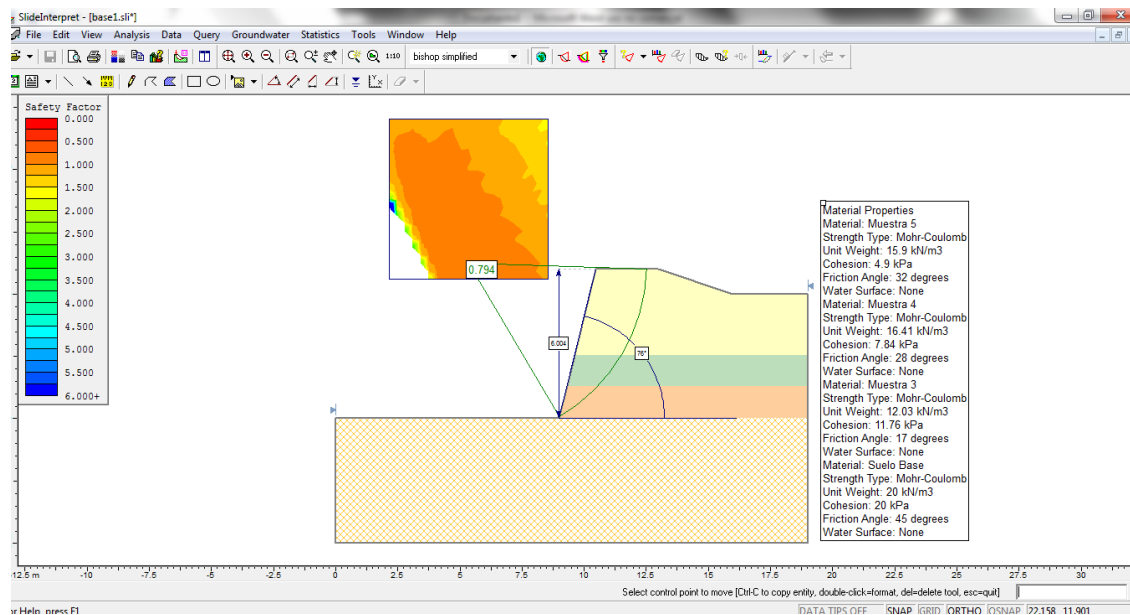
(*) Nota: Los Parámetros sísmicos Seudo estáticos de Construcción serán el 50% de los de Diseños.

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)-
Titulo H.

En las figuras a continuación se presentan los pantallazos obtenidos de la modelación del talud teniendo en cuenta la topografía y los parámetros del lugar, para obtener los perfiles de cada una de las zonas del talud.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observar la modelación de la Zona 1 en condiciones estables sin presencia de agua y sismos, con un Factor de Seguridad de 0.794

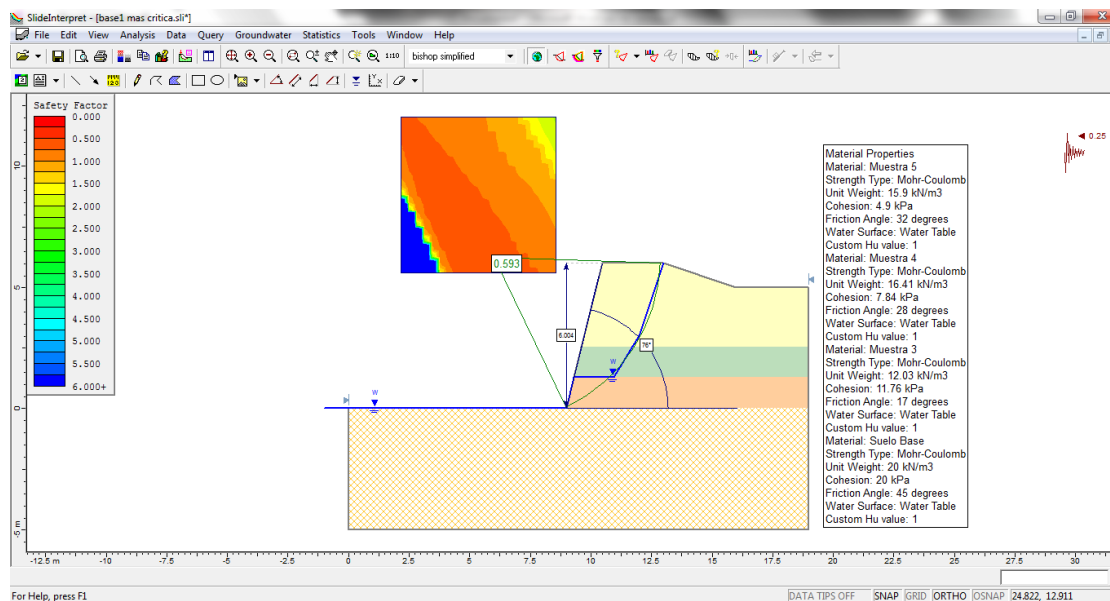
Figura 30: Zona 1 en Condiciones Estables.



Fuente: Software.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observar la modelación de la Zona 1 en condiciones críticas con presencia de Agua y Sismo, con un Factor de Seguridad mínimo de 0.593.

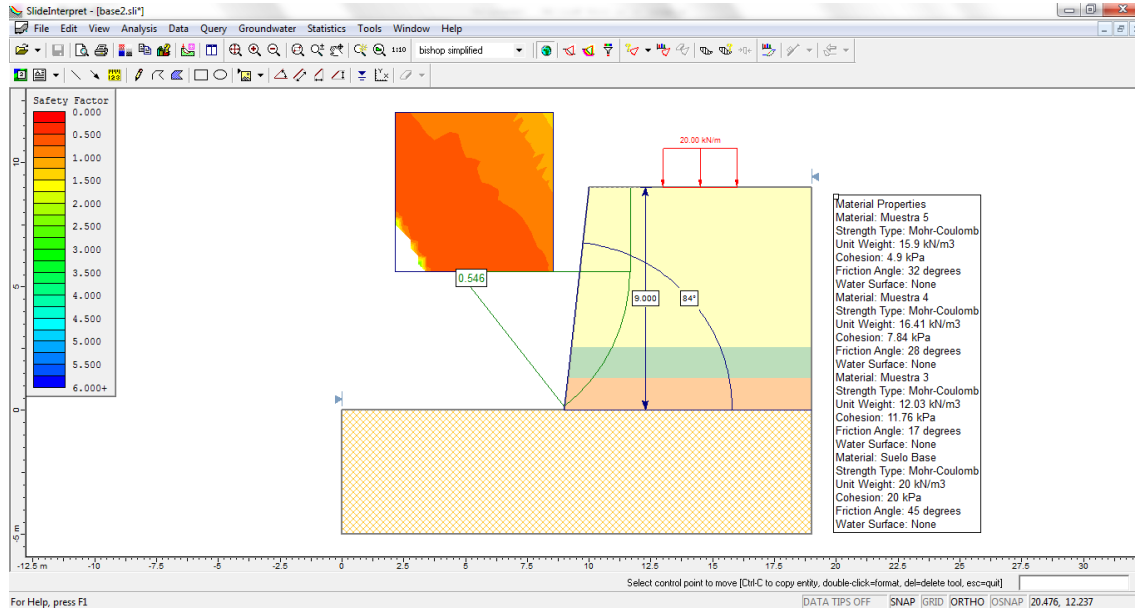
Figura 31: Zona 1 en Condicion critica (Agua y Sismo).



Fuente: Software.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observar la modelación de la Zona 2 en condiciones estables sin presencia de agua y sismos, con un Factor de Seguridad mínimo de 0.546

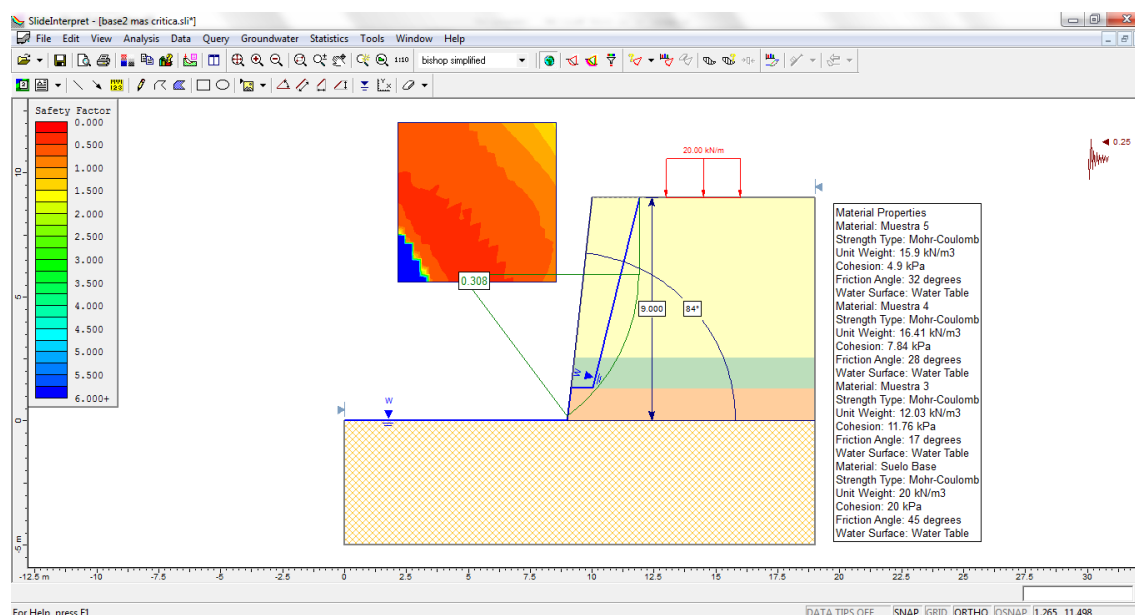
Figura 32: Zona 2 en Condiciones Estables.



Fuente: Software.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observar la modelación de la Zona 2 en condiciones críticas con presencia de Agua y Sismo, con un Factor de Seguridad mínimo de 0.308.

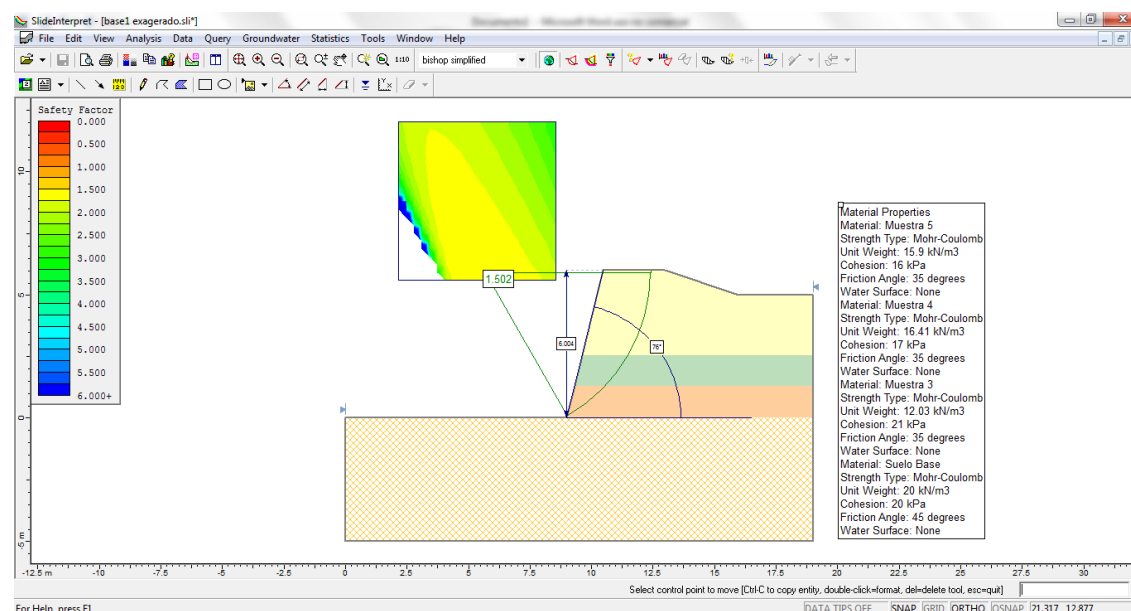
Figura 33: Zona 2 en Condicion critica (Agua y Sismo).



Fuente: Software.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observar la modelación de la Zona 1 en condiciones estables sin presencia de agua y sismos con Parámetros Exagerados, con un Factor de Seguridad de 1.502

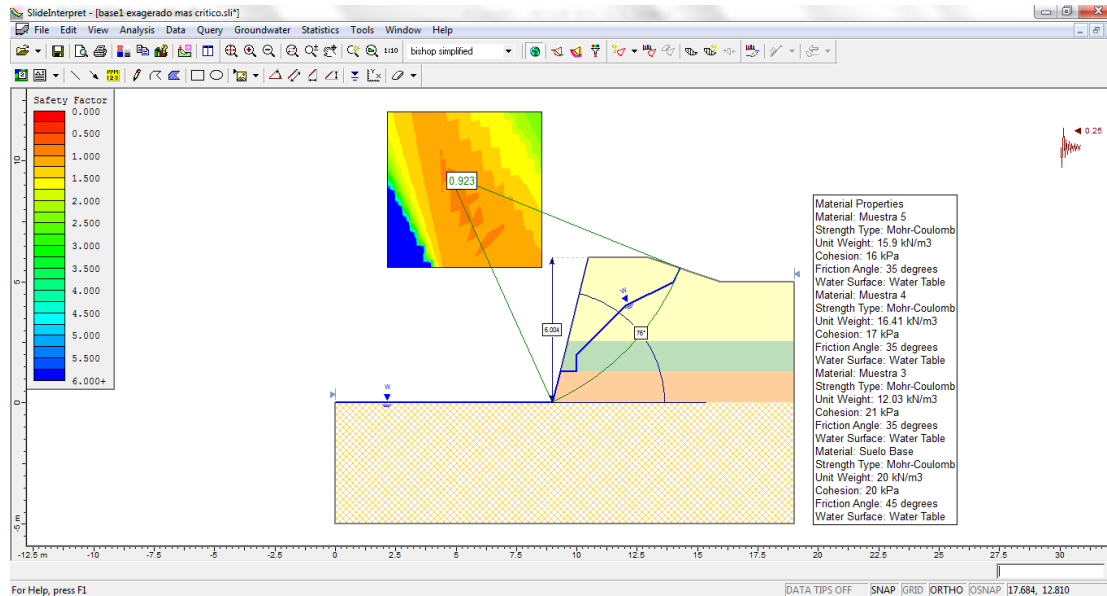
Figura 34: Zona 1 en Condicion Estables y con Parámetros Exagerados.



Fuente: Software.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observar la modelación de la Zona 1 en condiciones críticas con presencia de Agua y Sismo con Parámetros Exagerados, con un Factor de Seguridad mínimo de 0.923.

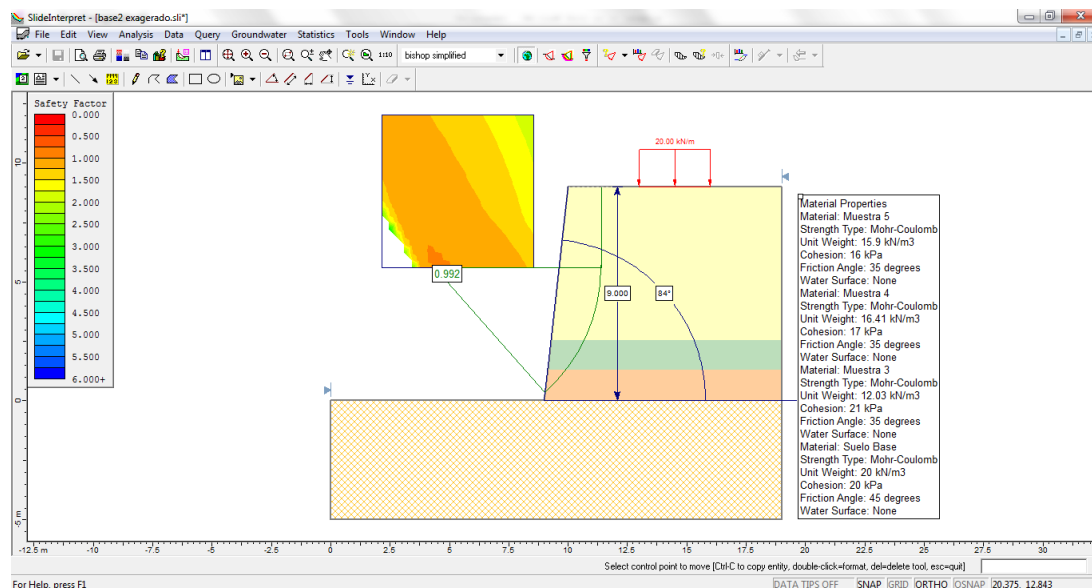
Figura 35: Zona 1 en Condicion critica (Agua y Sismo) y Parámetros Exagerados.



Fuente: Software.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observar la modelación de la Zona 2 en condiciones estables sin presencia de agua y sismos con Parámetros Exagerados, con un Factor de Seguridad de 0.992.

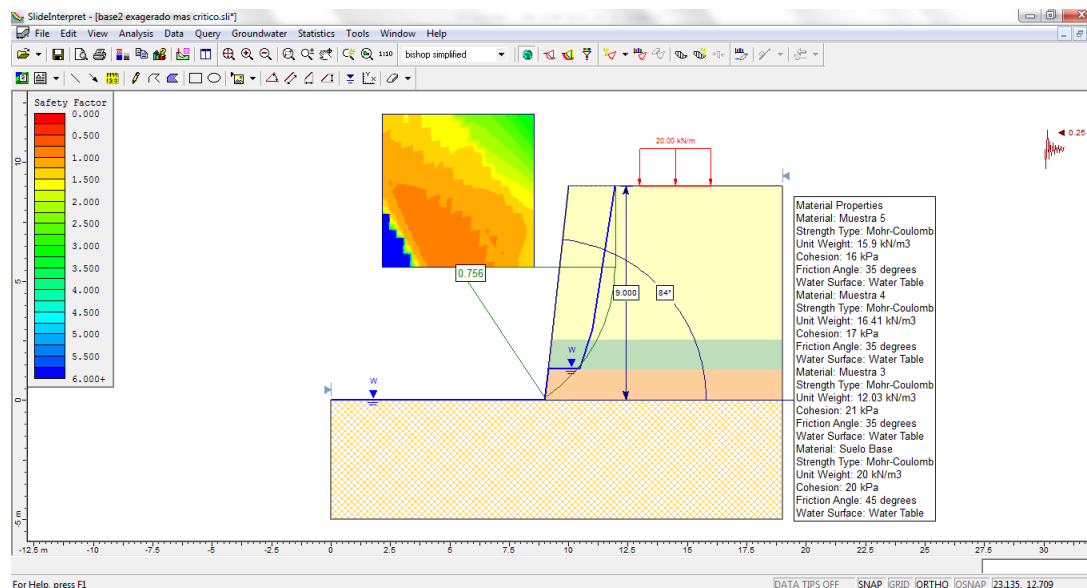
Figura 36: Zona 2 en Condicion Estables y con Parametros Exagerados.



Fuente: Software.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observar la modelación de la Zona 2 en condiciones estables sin presencia de agua y sismos con Parámetros Exagerados, con un Factor de Seguridad de 0.756.

Figura 37: Zona 2 en Condicion critica (Agua y Sismo) y Parametros Exagerados.



Fuente: Software.

La principal causa de los problemas en los taludes es la erosión superficial por las precipitaciones en forma de lluvia, la escorrentía, el agua subterránea, la acción del viento y cambios de temperatura. Para el diseño de las obras de control de la erosión en un talud debe realizarse un análisis muy completo de las condiciones geológicas, geotécnicas, hidrológicas y ambientales que permitan tener un conocimiento completo del comportamiento del talud.

Contrario a lo que se pensaba inicialmente se observa que el talud es potencialmente inestable, bajo condiciones normales los factores de seguridad aportados por el Software son menores al sugerido por la norma igual que en el caso de ocurrencia de un sismo de gran magnitud y la presencia de una fuerte lluvia existiría una amenaza real que se presente y se produzca un movimiento afectando a la vivienda próxima al talud.

De las **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** a la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se verifico si aun exagerando los parámetros del talud para efectuar la modelación el talud podría llegar a ser estable y se evidencia que en la zona 1 en Condiciones estables el factor de seguridad es mayor que el mínimo sugerido por la norma lo que indica que es seria estable el talud y a pesar de eso en condiciones críticas es potencialmente inestable pues el factor de seguridad es menor que el mínimo sugerido por la norma igual que en los otros casos.

Se concluye que el talud es potencialmente inestable y una de la causa principal que se le atribuye es la erosión en evolución que presenta el talud debido a las inclemencias del clima, sumado a la geometría, pendiente alta y poca vegetación que posee.

8. PLAN DE ACCIÓN GEOTÉCNICO SOBRE EL TALUD A CORTO PLAZO

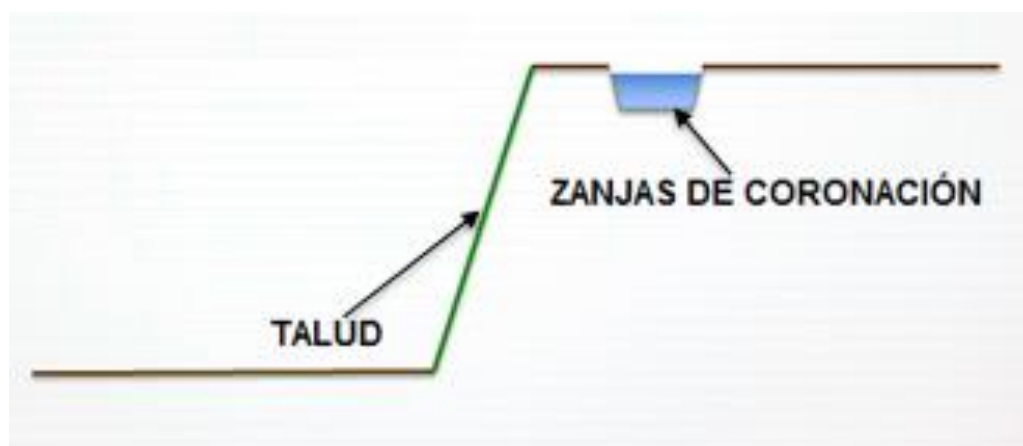
Teniendo en cuenta las metodologías aplicables a la estabilización de taludes que ayuden al control, prevención y/o mitigación de la erosión que afecta al talud de estudio, el plan de acción geotécnico a corto plazo se dará por medio del manejo de aguas superficiales. El objetivo principal del drenaje superficial es mejorar la estabilidad del talud, reduciendo la infiltración y evitando la erosión. El sistema de recolección de aguas superficiales debe captar la escorrentía, tanto del talud como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio seguro lejos del talud. Todas las aguas superficiales son manejadas a través de zanjas de coronación.

8.1. ZANJAS DE CORONACION

Las zanjas de coronación o también llamadas cunetas son utilizadas para interceptar y conducir adecuadamente las aguas lluvias, evitando el paso por el talud y también la erosión del terreno, estas zanjas especialmente en zonas de mucha pendiente no deben construirse muy cerca al borde superior del talud, para evitar que se convierta en el comienzo y guía de un deslizamiento en cortes recientes o de una nueva superficie de falla (movimiento regresivo) en deslizamientos ya producidos; o se produzca la falla de la corona del talud o escarpe.

Para la instalación de estas zanjas se recomienda que sean totalmente impermeabilizadas, así como debe también proveerse una suficiente pendiente para garantizar un excelente drenaje del agua captada. Sin embargo se anota que a pesar de lograrse originalmente una impermeabilización, con el tiempo se producen movimientos en el terreno que causan grietas en el impermeabilizante y por lo tanto infiltraciones que conllevan a una disminución de la resistencia del suelo y por ende a su falla. La recomendación de impermeabilizar se debe adicionar con un correcto mantenimiento. Se sugiere que al menos cada dos años se deben reparar las zanjas de coronación para impermeabilizar las fisuras y grietas que se presenten. [1]

Figura 38: Zanjas de coronación para el control de aguas superficiales en el talud.



Fuente: Autores del Proyecto

8.1.1. PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA ZANJA DE CORONACIÓN

- ✓ **PASO 1:** Se debe calibrar el nivel tipo “A” con 2% de pendiente, lo primero que se debe hacer es ubicar el nivel tipo “A” en un lugar plano, haciendo coincidir la plomada con el punto central.
Lo siguiente a esto es colocar debajo de una de las patas del nivel “A” un taquito de madera de 4 cm de altura.
La plomada se inclina un poco a un lado del punto central, este punto corresponde a la pendiente del 2% y se marca claramente.
De esta forma el nivel tipo “A” queda listo para trazar la línea y construir una zanja de coronación con 2% de pendiente. [20]

Imagen 8: Calibración nivel tipo “A”



FUENTE: Cartilla de capacitación 5. Para prevenir y mitigar los riesgos de erosión de suelos.

- ✓ **PASO 2:** Debe ser muy importante fijar bien los puntos por donde baja el mayor flujo de agua para allí construir la zanja de coronación y no permitir que el agua llegue al talud. [20]
- ✓ **PASO 3:** Por medio del nivel tipo “A” se va marcando una línea guía por donde se deberá realizar la excavación para la zanja de coronación. [20]

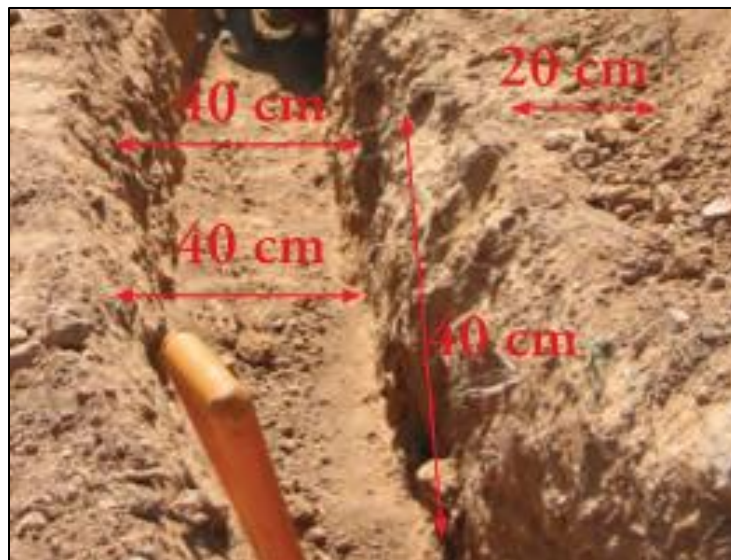
Imagen 9: Excavación Zanja de Coronación.



FUENTE: Cartilla de capacitación 5. Para prevenir y mitigar los riesgos de erosión de suelos.

- ✓ **PASO 4:** La tierra excavada debe ser ubicada por lo menos a una distancia de 20 cm del borde de la zanja, las dimensiones de la zanja de coronación son:
Profundidad: 40 centímetros
Ancho Inferior: 40 centímetros
Ancho Superior: 40 centímetros

Imagen 10: Dimensiones de una Zanja de Coronación.



FUENTE: Cartilla de capacitación 5. Para prevenir y mitigar los riesgos de erosión de suelos.

MANTENIMIENTO ZANJA DE CORONACION

Las zanjas de coronación deben tener un mantenimiento preventivo el cual consiste en realizar varias labores como:

- ✓ Limpiar la zanja luego de lluvias fuertes.
- ✓ Antes de temporadas de lluvias realizar una limpieza general.

Para sostener la plastilona se debe agregar material excavado encima de ella para sostenerla y que cumpla la función de conducir las aguas por la zanja de coronación.

8.1.2. COTIZACION ZANJA DE CORONACION

Para corregir los inconvenientes que se presentan a causa de las aguas superficiales se especifica en esta propuesta el uso de cunetas flexibles con plastilona; teniendo en cuenta los antecedentes de otros proyectos esta solución frente a las alternativas convencionales muestra excelentes resultados en costos y rendimientos, no se fracturan al asentarse los taludes por ser flexible, no genera sobrepeso en las coronas de los taludes ya que es una solución bastante liviana, además de ser una alternativa ambientalmente más amigable.

Para tener un valor aproximado de las diferentes metodologías aplicables al talud se realizaron diferentes cotizaciones con el ánimo de establecer la más económica y lograr adaptarla a un formato como el mostrado en la Tabla 42.

Tabla 42:APU de Zanja de Coronacion.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS ZANJA DE CORONACION PARA CONTROL DE AGUAS SUPERFICIALES (ml)					
EQUIPO	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	CANTIDAD	RENDIMIENTO	TOTAL \$
Herramientas varias	und	\$5,000	1	1	\$5,000
					\$5,000
MATERIALES	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	CANTIDAD	DESPERDICIO	TOTAL \$
Plastilona-HR900	ml	\$24,000	1,00	1.05	\$25,200
					\$25,200
MANO DE OBRA	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	PRESTACIONES	RENDIMIENTO	TOTAL \$
Instalación 1 Oficial + 3 Ayudante	Jornal	\$105,000	126,000	75	\$3,080
					\$3,080
Total Costos directos por ml de Zanja de Coronación para el control y manejo de aguas superficiales (\$)					\$33,280

Fuente: Autores del Proyecto.

El plan de acción a corto plazo planteado ayuda con el desvío de las aguas lluvias evitando así su paso por el talud, ayudando a mitigar el progreso de la erosión que afecta al talud en estudio. También es fundamental la investigación sobre las demás metodologías aplicables a la solución por completo del problema que se presenta en el sitio del talud. Se realizaron varias búsquedas con respecto a la instalación y cotización de las diferentes empresas encargadas de la venta de estos materiales. Todo con el fin de facilitar la elección del material a escoger teniendo en cuenta el ahorro del tiempo, el costo y los resultados que nos puede dar cada uno de estos.

9. METODOLOGIAS QUE AYUDAN AL CONTROL, PREVENCION Y/O MITIGACION DE LA EROSION EN TALUDES.

Teniendo en cuenta las características y los diferentes parámetros del talud se muestra las metodologías que ayudan a controlar la erosión y de este estudio plantear en el numeral 12 de este documento una propuesta que ayude a mitigar la erosión presente en el talud de estudio.

9.1. GEOSINTETICOS

“Son un grupo de materiales fabricados mediante la transformación industrial de sustancias Químicas denominadas polímeros, del tipo conocido genéricamente como “plásticos”, que de su forma elemental, de polvos o gránulos, son convertidos mediante uno o más procesos, en láminas, fibras, perfiles, películas, tejidos, mallas, rollos etc., o en compuestos de dos o más de ellos, existiendo también algunas combinaciones con materiales de origen vegetal.” [7]

Una de las características de los Geosintéticos es su aplicación con la actividad de la construcción, en la que participan parte integral de sistemas y estructuras que utilizan materiales de construcción tradicionales, como suelos, roca, agregados, asfaltos, concreto entre otros.

Algunas de las funciones que cumplen son las de complementar, conservar, o bien mejorar el funcionamiento de los sistemas constructivos e inclusive, en algunos casos, sustituir por completo algunos materiales y procesos de la construcción.

9.1.1. GEOTEXTIL

El Geotextil es un material textil sintético plano formado por fibras poliméricas (polipropileno, poliéster o poliamidas), similar a una tela, de gran deformabilidad, empleada para obras de ingeniería en aplicaciones geotécnicas (en contacto con tierras y rocas), cuya misión es hacer las funciones de separación ó filtración, drenaje, refuerzo o impermeabilización.

Existe una gran variedad de Geotextiles; los mismos se eligen según sea su destino y en base al estudio y definición de las propiedades mecánicas e hidráulicas del terreno en cuestión. Ello permite deducir los factores de seguridad mínimos de la obra. [8]

Clasificación según su método de fabricación

- a. Geotextiles Tejidos: Son aquellos formados por cintas entrecruzadas en una máquina de tejer. Pueden ser Tejidos de calada o tricotados.

Los Tejidos de calada son los formados por cintas de urdimbre (sentido longitudinal) y de trama (sentido transversal). Su resistencia a la tracción es de tipo biaxial (en los dos sentidos de su fabricación) y puede ser muy

elevada (según las características de las cintas empleadas). Su estructura es plana.

Los tricotados están fabricados con hilo entrecruzado en máquinas de tejido de punto. Su resistencia a la tracción puede ser multiaxial o biaxial según estén fabricados en máquinas tricotosas y circulares, o Ketten y Raschel. Su estructura es tridimensional.

b. Geotextiles No Tejidos: Están formados por fibras o filamentos superpuestos en forma laminar, consolidándose esta estructura por distintos sistemas según cual sea el sistema empleado para unir los filamentos o fibras. Los Geotextiles No Tejidos se clasifican a su vez en:

- Geotextiles No Tejidos ligados mecánicamente o punzonados por agujas
- Geotextiles No Tejidos ligados térmicamente o termosoldados
- Geotextiles No Tejidos ligados químicamente o resinados [9]

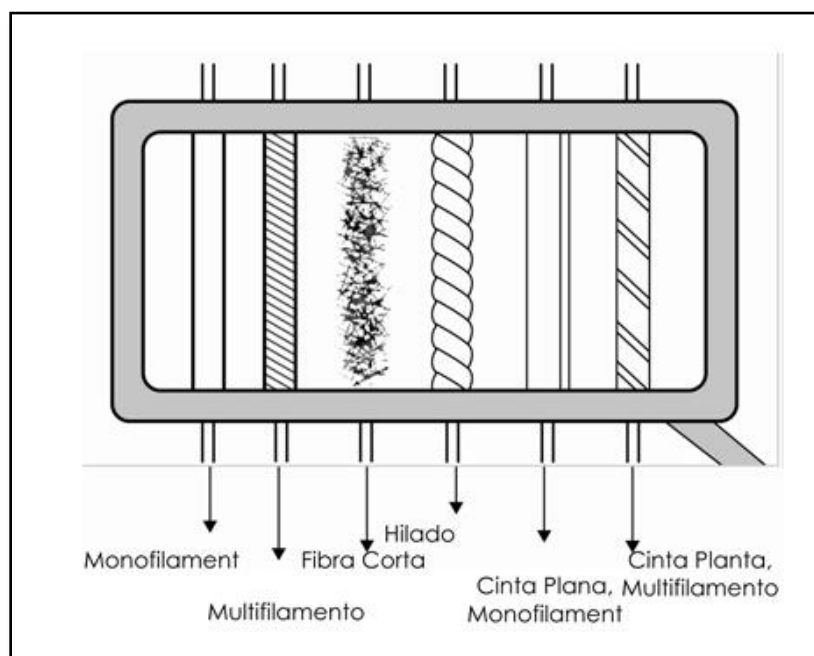
Clasificación de los Geotextiles según su composición

Las fibras que más se emplean son las sintéticas, siendo por ello que siempre tendemos a asociar al geotextil con fibras o filamentos sintéticos. Sin embargo, al existir gran diversidad de aplicaciones, también se fabrican con fibras naturales y artificiales.

- a) Fibras Naturales: Pueden ser de origen animal (lana, seda, pelos...) vegetal (algodón, yute, coco, lino...) que se utilizan para la fabricación de Geotextiles biodegradables utilizados en la revegetación de taludes, por ejemplo, en márgenes de ríos etc.
- b) Fibras Artificiales: Son las derivadas de la celulosa. Son el rayón, la viscosa y el acetato.
- c) Fibras Sintéticas: Cuando al geotextil se le exige durabilidad, se fabrica con fibras o filamentos obtenidos de polímeros sintéticos.

En resumen, los principales filamentos usados en la construcción de Geotextiles son monofilamentos cortados (fibra cortada), multifilamento (filamento continuo), hilos de fibras (fibra cortada), hilos de filamento continuo entrelazados, hilos de multifilamentos entrelazados y cinta plana ranurada.

Imagen 11:Tipos de fibras utilizadas en la construcción de geotextiles.



Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos PAVCO

9.1.2. GEOMALLAS

Las Geomallas son estructuras bidimensionales elaboradas a base de polímeros, que están conformadas por una red regular de costillas conectadas de forma integrada por extrusión, con aberturas de suficiente tamaño para permitir la trabazón del suelo, piedra u otro material geotécnico circundante.

La principal función de las geomallas es indiscutiblemente el refuerzo; el uso del tipo de malla está ligado a la dirección en que los refuerzos se transmiten en la estructura, por ejemplo, en aplicaciones tales como muros de suelo reforzado o en terraplenes, se utilizan las geomallas mono-orientadas que son geomallas con resistencia y rigidez mayor en el sentido longitudinal que en el transversal. Mientras, que en estructuras en que la disipación de los refuerzos se realiza de forma aleatoria y en todas las direcciones, como en estructuras de pavimento o cimentaciones superficiales, se utilizan Geomallas bi-orientadas o bi-direccionales las cuales no tienen una diferencia considerable frente a sus propiedades en los dos sentidos de las grillas.

Las geomallas generan un incremento en la resistencia al corte del suelo. Durante la aplicación de una carga normal al suelo, este es compactado de manera que se produzca una interacción entre las capas de suelo que rodean la geomalla. Con estas condiciones, se requerirá una carga considerablemente mayor para producir un movimiento en el suelo. El compuesto suelo-geomalla reduce la resistencia al

movimiento, por lo tanto, el uso de las Geomallas produce una condición de cohesión, inclusive en materiales granulares. El compuesto combina la resistencia a la compresión del suelo con la tensión de la Geomalla, para crear un sistema que presenta una mayor rigidez y estabilidad que un suelo sin ningún elemento que soporte estos esfuerzos. La capacidad que tiene la Geomalla para distribuir las fuerzas sobre su superficie incrementa las características de resistencia contra los desplazamientos de la estructura durante el sometimiento de esta a cargas tanto estáticas como dinámicas. [10]

Clasificación [10]

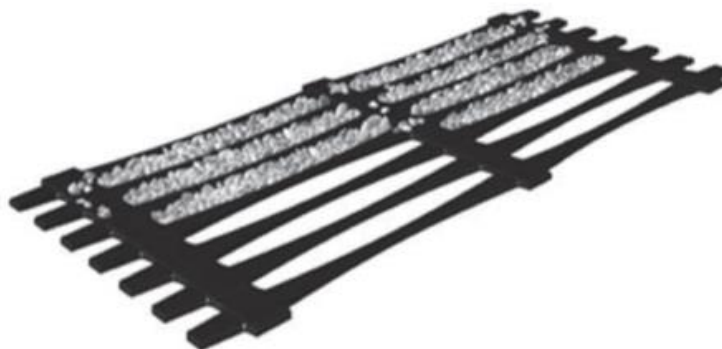
a) Geomallas Mono-orientadas o Uniaxial

Son estructuras bi-dimensionales producidas de polietileno de alta densidad (HDPE) utilizando un proceso de extrusión seguido de un estiramiento mono-direccional.

Este proceso permite obtener una estructura monolítica con una distribución uniforme de largas aberturas elípticas, desarrollando así gran fuerza a la tensión y gran módulo de tensión en la dirección longitudinal. La estructura de este tipo de Geomallas provee un sistema de trabazón óptimo con el suelo especialmente de tipo granular.

Este tipo de Geomallas, son totalmente inertes a las condiciones químicas o biológicas que se presentan normalmente en el suelo, poseen gran resistencia a los esfuerzos de tensión, soportando hasta 160 KN/m aproximadamente. Esto, con la capacidad del suelo de absorber los esfuerzos de compresión, da como resultado el concepto de estructura en suelo reforzado, similar al concepto del concreto y el acero de refuerzo.

Figura 39:Geomalla Mono-Orientada o Uniaxial.



Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos PAVCO

b) Geomallas Bi-orientadas o biaxial

Estructuras bi- dimensionales fabricadas de propileno, químicamente inertes y con características uniformes y homogéneas, producidas mediante un proceso de extrusión y luego estiradas de forma longitudinal y transversal. Este proceso genera una estructura de distribución uniforme de espacios rectangulares de alta resistencia a la tensión en ambas direcciones y un alto módulo de elasticidad. Así mismo, a estructura de la geomalla permite una óptima trabazón con el suelo.

Este tipo de Geomallas se componen de elemento y nudos rígidos que proveen un gran confinamiento. Son particularmente efectivas para reforzar estructuras de pavimento rígido y flexible.

Figura 40:Geomalla Bi-orientada o Biaxial



Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos PAVCO

Función y Aplicaciones [10]

El uso de Geomallas en diferentes campos de aplicación se define básicamente por su función de refuerzo. Esta función se realiza cuando la geomalla inicia un trabajo de resistencia a la tensión complementando con una trabazón de agregados en presencia de diferentes tipos de materiales.

Las principales aplicaciones de las Geomallas mono-orientadas son:

- Refuerzo de muros y taludes.
- Refuerzo de terraplenes con taludes pronunciados y diques
- Estabilización de suelos blandos.
- Reparación de deslizamientos.
- Ampliación de cresta de taludes.
- Reparación de cortes en taludes.
- Estribos, muros y aletas de puentes.
- Muros vegetados y cubiertos con concreto.

Las principales aplicaciones de las geomallas bi- direccionales son:

- Terraplenes para caminos y vías férreas
- Refuerzo en bases de caminos pavimentados y no pavimentados.
- Refuerzo en estructuras de pavimento de pistas de aterrizaje en aeropuertos.
- Refuerzo debajo del balasto de las vías de ferrocarril
- Como sistema de contención sobre rocas fisuradas.

El principal criterio de selección del tipo de geomalla es básicamente estudiado como se generan y transmiten los esfuerzos a lo largo de la estructura a reforzar, por ejemplo, en muros en suelos reforzados, sabemos que los esfuerzos principales están en una sola dirección debido a la presión lateral de tierras que el suelo retenido ejerce sobre la estructura. Mientras que para refuerzo debe tener las mismas propiedades mecánicas tanto en el sentido longitudinal como el transversal.

Ventajas [11]

- Fácil instalación incluso en condiciones climáticas desfavorables.
- Aumento de la seguridad y la estabilidad de taludes.
- Reducción del volumen en los movimientos de tierra.
- Mantiene el aspecto natural en laderas.
- Alarga significativamente la vida útil de las carreteras, vías férreas y caminos reforzados.
- Reduce significativamente la aparición de grietas en la superficie de los suelos reforzados.
- Alta resistencia del material contra los daños durante la instalación

9.1.3. MANTOS DE REVEGETACIÓN

Son esterillas flexibles, compuestas por fibras o por una matriz tridimensional, que garantizan la protección del suelo, el refuerzo y el buen establecimiento de la vegetación.

El tipo de manto a utilizar en cada proyecto dependerá de: clima, precipitación, geometría del talud (longitud, pendiente), tipo de suelo (caracterización geotécnica, contenido químico, biológico, acidez del suelo).

Clasificación

Estos mantos se dividen en dos grandes grupos:

a. Temporales

Este tipo de mantos se utilizan para aplicaciones donde la vegetación natural (por sí sola) provee suficiente protección contra la erosión. Su durabilidad o longevidad funcional comprende entre 1 a 48 meses, la cual se refleja en la biodegradación o foto degradación del manto.

Al final de la vida útil del manto se espera que la vegetación se encuentre totalmente establecida y pueda resistir por sí sola eventos hidrológicos y climáticos que generan erosión en el suelo.

b. Permanentes

Son manos conformadas por fibras sintéticas no degradables, filamentos o mallas procesadas a través de una matriz tridimensional, con estabilización UV y resistentes a los químicos que habitan en el ambiente natural del suelo. Este tipo de mantos se instalan donde la vegetación natural, por sí sola no es suficiente para resistir las condiciones de flujo y no provee la protección suficiente para la erosión a largo plazo. Los mantos que se emplean para estos casos tienen las propiedades necesarias para proteger la vegetación y reforzar el suelo, bajo las condiciones naturales del sitio. Su durabilidad o longevidad funcional va desde los 48 meses hasta los 50 años, aproximadamente. Su forma y fibra crea una matriz gruesa de vacíos que atrapan la semilla el suelo y el agua para un crecimiento más rápido y más denso de la vegetación, proporcionando un esfuerzo adicional que dobla la capacidad natural.

Función y Aplicaciones

Las principales aplicaciones para los diferentes tipos de manto son:

- ✓ Protección de taludes: El uso de mantos en taludes genera una protección y un refuerzo adecuado del suelo, dependiendo de las características geométricas de los taludes a proteger, generando un buen establecimiento de la vegetación

- ✓ Revestimiento de canales: En lugares donde se esperan altas velocidades de agua y esfuerzos cortantes, el uso de mantos permanentes genera un sistema de revestimiento hidráulico funcional, ambientalmente superior, debido a que retiene sedimentos, permite la recarga de acuíferos y disminuye la escorrentía [9]

Imagen 12: Uso de Mantos de Revegetalización en un Talud.



Fuente: Imágenes de Google.

Beneficios y Ventajas de los mantos.

Una pendiente manejada apropiadamente con manto reduce significativamente el riesgo de daños a la superficie de interés.

Entre los beneficios y ventajas están los siguientes:

- Es de bajo costo.
- Es un producto enrollable de fácil y rápida instalación.
- Aporta protección inmediata después de su instalación en ausencia de vegetación.
- Presenta alta resistencia ante las fuerzas hidrodinámicas presentes en taludes y canales.
- Evita la saltación que ocasionan las gotas de lluvia cuando impactan el suelo.
- Elimina la abrasión de los agentes erosivos sobre el suelo.
- Controla la escorrentía reduciendo la velocidad del flujo del agua.
- Impide el desprendimiento de la masa de suelo superficial. [10]

9.2. BIOINGENIERIA

La Bioingeniería comprende el uso de la vegetación para la estabilización de taludes y el control de la erosión. La bioingeniería de suelos es única en el sentido de que las partes de la planta por si mismas ósea las raíces y el follaje funcionan como los elementos estructurales mecánicos para la protección del talud. Los elementos vivos se colocan en el talud en diversos sistemas de arreglos geométricos en tal forma que ellos actúan como refuerzo, como drenaje o como barrera para los sedimentos. En el análisis de la bioingeniería se requiere tener en cuenta no solamente la ciencia de las plantas sino el comportamiento de los taludes y la mecánica de la erosión. [1]

Los sistemas de bioingeniería del suelo suelen ser ambientalmente compatibles durante el proceso de construcción, ya que generalmente requieren un acceso mínimo para los equipos, los trabajadores y causan perturbaciones relativamente menores. Con el tiempo, los sistemas de bioingeniería pasan visualmente desapercibidos y se funden con el entorno natural.

A medida que envejecen las estructuras de bioingeniería que utilizan especies de árboles, tienen la ventaja añadida de que se vuelven más estables y, finalmente, contribuyen a la sucesión natural y la colonización a largo plazo de las especies forestales. En la mayoría de los casos, los pastos, arbustos y árboles nativos se utilizan como vegetación en la bioingeniería de estabilización.

En las zonas tropicales y subtropicales, los setos de hierba vetiver para estabilización se han vuelto muy populares debido a la rápida expansión y la penetración profunda de las raíces de esta hierba. Sin embargo, si se introducen especies exóticas de plantas o árboles, existe el peligro real de que entren en conflicto con la flora nativa.

9.2.1. LA VEGETACIÓN Y LA EROSIÓN

Un bosque denso suministra virtualmente una protección completa al suelo contra la erosión. El follaje impide la erosión por la lluvia y demora la escorrentía, disminuyendo las velocidades y caudales. La acumulación de residuos vegetales forma un colchón protector muy eficiente y la cobertura de las raíces evita la formación de cárcavas.

Tabla 43:Erosión relativa de acuerdo a la vegetacion.

Vegetación	Erosión Relativa
Bosques Densos	1
Pastos Altos	1
Pastos Bajos	5-10
Arbustos(café)	10-20
Cultivos Limpios (Papa-Maiz)	100

Fuente: Design With Geosynthetics, Quinta Edición.

El pasto alto evita completamente la erosión por las gotas de lluvia, retarda el flujo y evita la erosión laminar. Las raíces profundas eliminan cárcavas y surcos. Por esta razón para el control de erosión cada día se utiliza especies tales como el vetiver.

Tabla 44:Variación de la Velocidad de erosión con la altura de los pastos.

Suelo	Velocidades de Erosión m/seg			
	Sin Vegetación	Vegetación de 15 a 25 cm de Altura.	Vegetación de 25 a 50 cm.	Vegetación de 50 a 1.0 m.
Arenoso	0.5	0.7 a 1.2	1.0 a 1.5	1.2 a 1.8
Limoso	0.7	1.2 a 1.8	1.5 a 1.2	1.8 a 2.0
Arcilloso	0.9	1.2 a 2.0	1.2 a 2.2	1.2 a 2.5

Fuente: Design With Geosynthetics, Quinta Edición.

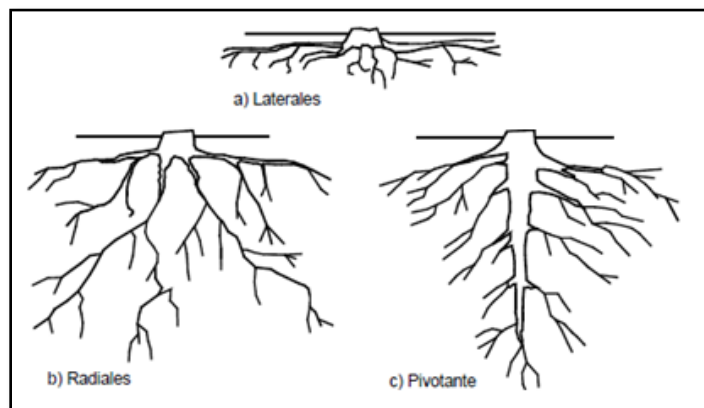
9.2.2. ESTRUCTURA DE LAS RAICES

Existen varias formas de raíces así:

- Raíces de extensión lateral.
- Raíces de extensión radial.
- Raíces pivotantes.

Las raíces pivotantes pueden ser más útiles para la estabilidad y la erosión en masa, pero las raíces de extensión lateral y radial pueden tener mejor efecto para la protección de la erosión superficial. Una alta densidad o concentración de raíces fibrosas de pequeño diámetro pueden ser más efectivas para el control de erosión superficial que unas pocas raíces de gran diámetro.

Imagen 13: Formas generales de las raíces de la vegetación.

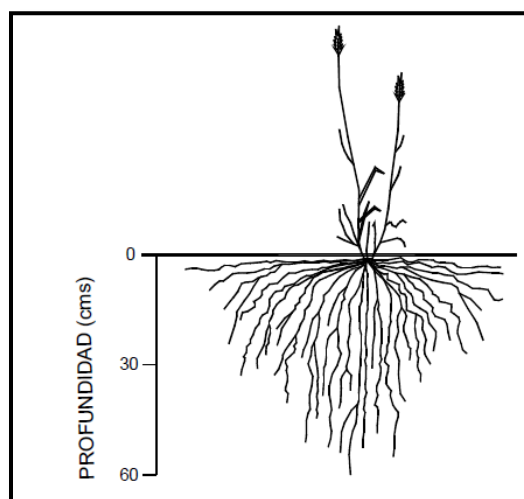


Fuente: Jaime Suarez, Control de Erosión

9.2.3. RELACION DE AREA DE RAICES

La cantidad de raíces generalmente disminuye con la profundidad. El termino relación de área de las raíces, se refiere a la fracción del área total de superficie a una determinada profundidad que está ocupada por raíces. Este término es utilizado para caracterizar un sistema determinado de cobertura vegetal. Otra forma de analizar la densidad radicular es mediante los estudios de "Biomasa Radicular". El sistema consiste en arrancar plantas enteras con la totalidad de sus raíces las cuales se pesan.

Imagen 14: Raíz típica de pastos.



Fuente: Jaime Suarez, Control de Erosión

9.2.3.1. Extensión lateral

Algunas raíces pueden extenderse lateralmente por distancias considerables. Las raíces de algunos árboles en suelos arenosos se extienden hasta 65 metros lateralmente y algunos pinos en suelo arenoso pueden extender sus raíces siete veces la altura de los árboles.

La extensión lateral de las raíces depende tanto de la especie vegetal como el tipo de suelo.

Se reportan casos de árboles que en suelos arcillosos se extienden en 1.5 veces el ancho de follaje, en arenas 3 veces y en suelos areno arcillosos hasta 22 veces. Generalmente la extensión de las raíces es muy superior en suelos mixtos compuestos por arena y arcilla.

9.2.3.2. Profundidad de las raíces

La distancia vertical que puede alcanzar el sistema de raíces depende tanto de la especie vegetal como el tipo de suelo. Las raíces tienden a profundizarse más en suelos mixtos areno arcillosos que en suelos exclusivamente de arcilla o arena. En suelos residuales las raíces tienden a penetrar por las estructuras heredadas y pueden alcanzar profundidades importantes.

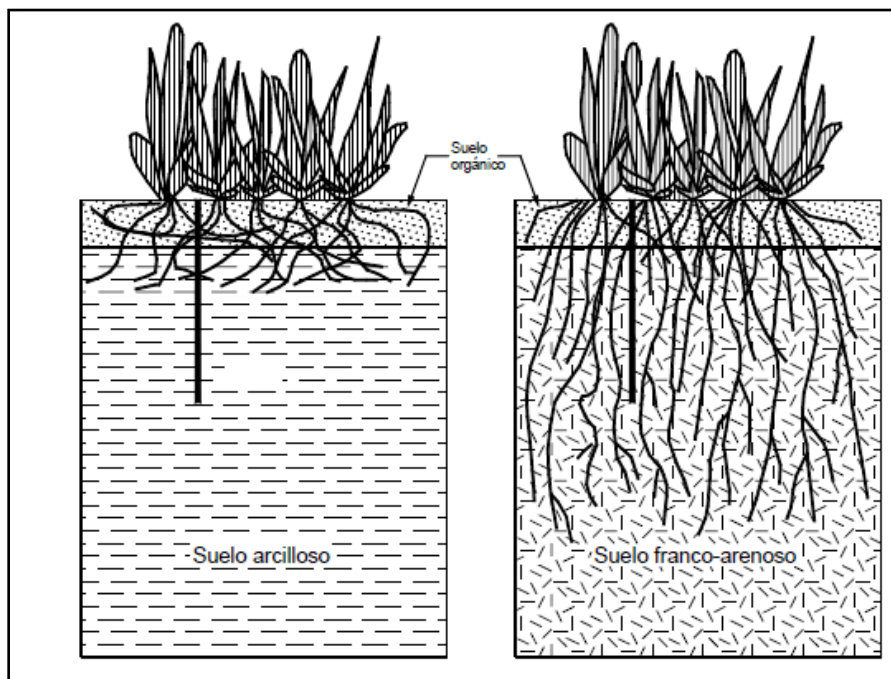
La profundidad de refuerzo de las raíces de los pastos es de solo 30 centímetros comúnmente, pero algunas especies tienen profundidades que permiten el anclaje a mantos de roca relativamente profundos. Las raíces de los pastos pueden alcanzar profundidades de 0.5 a 0.75 metros y en casos excepcionales hasta 1.5 metros. Las raíces de árboles y arbustos generalmente profundizan uno a tres metros con una densidad de raíces muy alta en el primer metro, la cual disminuye con la profundidad.

El área de cobertura y espaciamiento de la vegetación es un factor a tener en cuenta en el diseño de la protección vegetal. Generalmente el diámetro del cilindro del suelo protegido completamente es igual a cinco veces el diámetro del árbol en su pie. Por fuera de ese diámetro aparecen algunas raíces hasta un diámetro igual a la del área cubierta por el follaje. Se conoce de Eucaliptos con raíces hasta de 27 metros

La experiencia muestra que, en la mayoría de los casos, la extensión lateral de las raíces es mucho mayor que la profundidad, con excepción de las raíces pivotantes, las cuales a su vez no son muy profundas.

En este orden de ideas, el anclaje de las raíces es principalmente paralelo a la superficie del terreno; Sin embargo, no debe desestimarse la penetración de las raíces en las fisuras de la roca, anclando el suelo superficial o el efecto del anclaje en los dos primeros metros de suelo.

Imagen 15: Efecto de la permeabilidad sobre la profundidad de las raíces.



Fuente: Jaime Suarez, Control de Erosión

9.2.3.3. Resistencia de las raíces

Los factores que más afectan la resistencia de las raíces son su diámetro, orientación y ambiente de suelo. La resistencia de las raíces generalmente se encuentra en el rango entre 5 y 40 MPa, siendo mayor en las raíces de menor diámetro, pero en muchas ocasiones se han reportado resistencias superiores a 90 MPa.

La resistencia de las raíces depende de la densidad del sistema radicular, la resistencia propiamente dicha de las raíces, su longitud, diámetro, rugosidad superficial, dirección de las raíces y dirección de los esfuerzos principales.

La resistencia de las raíces difiere mucho dependiendo de la especie, el clima y las dimensiones de las raíces.

9.2.4. PASTOS

Los pastos son el tipo de vegetación más comúnmente utilizados para el control de la erosión, y en ocasiones es el único de protección. Existen una gran variedad de especies y esto facilita su empleo; sin embargo, debe tenerse en cuenta que el control de erosión no puede limitarse en forma simplista a la siembra de pastos. Entre los tipos de pastos más utilizados se encuentran los siguientes:

Tabla 45:Características de algunos pastos utilizados para el control de la erosión.

Nombre Científico	Nombre Común	Altitud msnm	Temperatura	Lluvias MM/Año	Reproducción	Invasor	Resist Que	Resist Pisoteo	Resist Sequias	Terreno
Vetiveria Zizanioides	Vetiver	0 a 2000	5 a 45	600 a 6000	Tallos enraizados	NO	SI	SI	SI	Preferentemente húmedo
Brachiaria Decumbens Stapf	Braquiaria	0 a 2200	20 a 30	800 a 4000	Cepas estolones y semillas	SI	SI	SI	SI	Bien drenado, ácido
Melinis Minutiflora	Gordura	300 a 3300	18 a 27	800 a 3000	Semillas	NO	NO	NO	NO	Bien Drenado a Húmedo
Pennisetum Clandestinum	Kikuyo	0 a 3300	10 a 30	800 a 2000	Estolones y semillas	SI	SI	SI	SI	Bien Drenado a Húmedo
Hiparrhenia Rufa Stapf	Puntero	0 a 2000	20 a 30	600 a 1000	Cepas y Semillas	NO	NO	SI	SI	Bien Drenado
Dicanthium Aristatum	Angleton	600 a 1800	23 a 30	1000 a 4000	Estolones y semillas	SI	NO	SI	NO	Bien Drenado Neutro
Festuca Arundinacea	Festuca	2000 a 3200	15 a 20	900 a 1700	Semillas	NO	NO	NO	NO	Húmedo a Bien Drenado
Panicum Maximum	Guinea	0 a 2200	20 a 30	1000 a 4000	Cepas y Semillas	NO	NO	NO	NO	Húmedo a Bien Drenado
Brachiaria Mutica	Para-Admirable	0 a 1700	22 a 30	1000 a 4000	Estolones	SI	SI	SI	NO	Húmedo
Digitaria Decumbens	Pangola	0 a 2200	18 a 30	1000 a 2000	Estolones	SI	SI	SI	SI	Húmedo a Bien Drenado
Lolium Perenne	Raigras Perenne	2200 a 3000	10 a 20	1500 a 4000	Semillas	NO	NO	SI	NO	Húmedo
Centrosema Plumieri	Centro	0 a 1600	25 a 30	600 a 1000	Cepac (Rastrero)	SI	NO	SI	SI	Secos
Pueraria Phaseloides	Kudzu Tropical	0 a 2000	22 a 30	1000 a 2000	Cepac (Rastrero)	SI	NO	NO	NO	Húmedo a Bien Drenado
Desmodium spp.	Pega-Pega	0 a 3000	18 a 30	1000 a 2000	Cepac (Rastrero)	SI	NO	NO	SI	Bien Drenado
Stenotrium Secundatum	San Agustin	300 a 2000	18 a 25	1000 a 3000	Cepac	SI	NO	NO	SI	Bien Drenado
Pennisetum Purpureum	Elefante	300 a 2300	18 a 27	1000 a 3000	Cepac estolones y semillas	SI	NO	SI	NO	Húmedo Neutro
Cymbopogon Citratus	Limonaria	300 a 2000	18 a 25	1000 a 3000	Estolones	NO	NO	SI	SI	Bien Drenado

Fuente: Jaime Suarez, Control de Erosión.

9.2.4.1. PASTO VETIVER

El pasto Vetiver (Vetiveria Zizanioides) es tal vez una de las variedades de mayor utilización en el mundo para el objeto específico de la protección contra la erosión. Esta especie crece desde el nivel del mar hasta 2000 msnm, en zonas con

precipitación media anual desde 600 mm hasta 6000 mm, suelos con pH desde 4.5 hasta 10.5 y temperaturas desde 5°C hasta 45°C.

Este pasto es originario del sureste Asiático especialmente de Malasia y se está utilizando en los países tropicales de todo el mundo como la especie controladora de erosión por excelencia. El vetiver se establece muy fácilmente en suelos tropicales y con perfil profundo, pero presenta dificultades en suelos secos o perfiles rocosos. [1]

Imagen 16: Pasto Vetiver



Fuente: Imágenes de Google.

CARACTERISTICAS DE LA PLANTA

Existen como 10 especies de gramíneas comunes de la Tribu Antropogoneae y perennes que se encuentran en las regiones tropicales del mundo y que pertenecen a la familia Gramínea, subfamilia Panicoindae y dentro de estas el pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) ha demostrado ser la ideal para la conservación del suelo y agua, la humedad del suelo y otros usos como en bioremediación, bioingeniería, forrajes, agroforestería, medicinal, artesanía, energía etc.

La planta de vetiver es una gramínea perenne, con inflorescencia y semilla estériles que se reproducen con dificultad. Como no tiene rizoma radicular o haces

enraizados, la planta crece en grandes macollos a partir de una masa radicular muy ramificada y esponjosa. Sus tallos erguidos en forma recta alcanzan una altura de 0.5 a 1.5 m. Las hojas son relativamente rígidas, largas y angostas y tienen hasta 75 cm. de largo y no más de 8 mm de ancho. La panícula (en donde se desarrolla la inflorescencia) tiene entre 15 a 40 cm de largo.

La planta puede soportar sequías extremas debido a su alto contenido de sales de la savia de sus hojas y debido a sus largas raíces, así como inundaciones por largos periodos. Crece en un rango amplio de suelos y con diferentes niveles de fertilidad.[10]

El vetiver tolera altos niveles de toxicidad del suelo por manganeso, aluminio y otros metales y crece también en suelos sódicos y salinos, soporta el fuego y germina nuevamente después del fuego. La densidad de las hileras de vetiver ayuda en forma importante a la sedimentación.

Tiene el prestigio de repelar ratas y roedores debido a que tiene un aceite fuertemente aromático que es desagradable para los animales y sus hojas afiladas ahuyentan las serpientes.

Las raíces son fibrosas y extraordinariamente profundas, forman un sistema extensivo de raíces con gran densidad, aunque de pequeño diámetro.

Desde el punto de vista de Ingeniería este sistema de raíces presenta una gran resistencia a la tracción y prácticamente impide la erosión, resistiendo velocidades muy altas de corriente y grandes turbulencias. El vetiver crece muy rápido en terraplenes de suelo suelto, debido a que la raíz profundiza más fácilmente en suelos sueltos que en suelos duros y alcanza mayores profundidades. [1]

Imagen 17: Raíces del Vetiver



Fuente: Imágenes de Google.

CONTROL DE LA EROSION

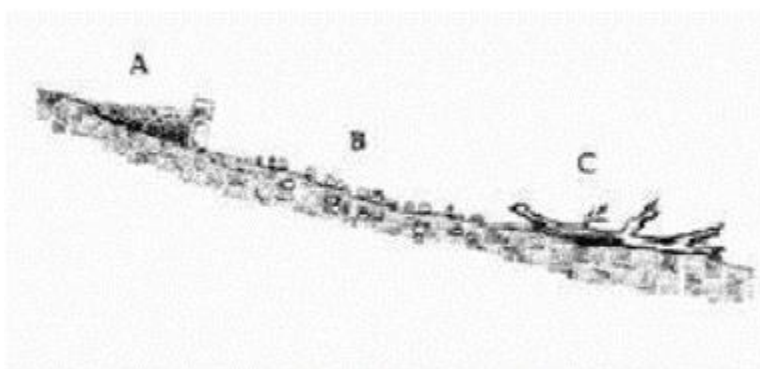
Vetiver ofrece soluciones a la erosión debido a las inundaciones, deslizamientos y mal drenaje. Funciona en prácticamente cualquier tipo de suelo incluyendo arcilla, piedra y arena.

Había sido utilizado durante siglos en la India, desde hace décadas en todo el mundo y con miles de plantaciones exitosas en los últimos 15 años en América. Gobierno, agrícola y estudios científicos muestran que el vetiver es 100% efectivo. [11]

La erosión laminar es la forma más perjudicial de erosión, principalmente debido a que con frecuencia no se la reconoce y, por ende, pocas veces se la trata. Este tipo de erosión, provocada por las precipitaciones, es responsable de la pérdida de miles de millones de toneladas de suelo cada año. A medida que las gotas de lluvia golpean el suelo, se desprenden de éste partículas de tierra que luego el agua arrastra al escurrirse. Este escurrimiento continúa despojando a las zonas desprotegidas de su valiosa tierra vegetal y se convierte en el agua barrosa que luego desemboca en los desagües, arroyos y ríos. La erosión laminar da origen a otras formas más impresionantes de erosión: surcos y cárcavas, por ejemplo, que han sido objeto de la mayor parte de los esfuerzos de conservación realizados hasta la fecha. Aunque no tan espectacular, la erosión laminar deja sin embargo marcas

visibles, como se muestra en la Imagen 18 acumulación de tierra detrás de obstáculos en una pendiente (como el ladrillo en el ejemplo A); piedras que el escurrimiento ha dejado atrás debido a que pesan demasiado para ser arrastradas (B) o montículos de tierra y otros desechos atrapados bajo ramas, ramitas e incluso manojos de paja (C). [12]

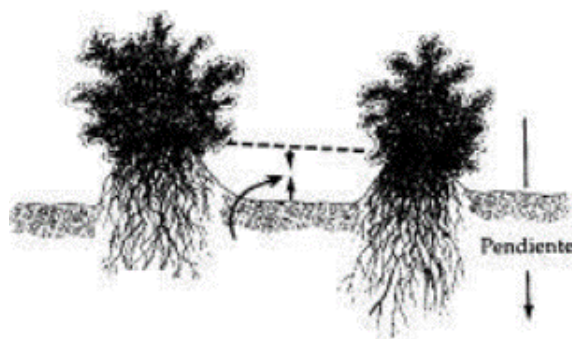
Imagen 18:Señales de erosión laminar



Fuente: Vetiver Network International (2017) Disponible en
<[http://www.vetiver.org/PUBLICATIONS \[12\]/TVN_GreenSpan.pdf](http://www.vetiver.org/PUBLICATIONS [12]/TVN_GreenSpan.pdf)> [acceso el 25 de Mayo del 2017]

La cantidad de suelo que se pierde a causa de la erosión laminar es alarmante. La Imagen 19, en que se muestran dos plantas sobrevivientes cuyas raíces impiden ese tipo de erosión, demuestra la forma en que puede medirse esa cantidad. En este caso se perdió una capa de suelo de 50 centímetros de profundidad en toda la superficie del campo medida por la distancia entre la parte superior de los montículos de las plantas y el nivel efectivo del suelo con posterioridad al establecimiento de las plantas.

Imagen 19:Perdida de la tierra vegetal.



Fuente: Vetiver Network International (2017) Disponible en
<[http://www.vetiver.org/PUBLICATIONS \[12\]/TVN_GreenSpan.pdf](http://www.vetiver.org/PUBLICATIONS [12]/TVN_GreenSpan.pdf)> [acceso el 25 de Mayo del 2017]

COMO FUNCIONA PARA DETENER LA EROSION

- La planta está bloqueando por el complejo sistema, en el fondo, fuerte, raíces fibrosas. Cuando se plantan correctamente como una cobertura de estas raíces se unen con la tierra y forman un increíblemente movimiento de tierra con enclavamiento, impidiendo muro subterráneo.
- El Vetiver de cobertura por encima del suelo disminuye o detiene la escorrentía superficial. Atrapa las partículas de cobertura y las grandes raíces y follaje denso permitir el drenaje controlado.

LA CAUSA PRINCIPAL

Raíces de vetiver puede penetrar a 2 metros en su primer año. Pero se pueden penetrar 4 a 6 metros en prácticamente cualquier tipo de suelo. En la tierra de la planta puede crecer hasta 1,2 metros de altura y con las raíces bajo tierra también aproximadamente 600 a 900 mm de ancho. Correctamente instalado y plantado, las raíces profundas de vetiver significan que no es necesario para el riego de esta planta.

Prácticamente libre de mantenimiento. Vetiver ofrece una solución rápida, natural y permanente para proteger su propiedad. Una solución de bajo coste en comparación con alternativas.

VETIVER ES UNICO POR: [13]

- Se detiene la erosión con una cobertura de solo una planta de ancho
- No es invasivo (no se convierte en una mala hierba)
- Es tolerante a la sequía y a las heladas.
- Puede sobrevivir inundaciones, tormentas de viento, fuego, los animales de pastoreo y otras fuerzas de la naturaleza.
- El vetiver es una planta muy resistente y robusta.
- No compite con las plantas vecinas para obtener humedad y nutrientes.
- Puede crecer en muchos tipos de suelo que incluyen arena, grava y arcilla.
- La acidez, alcalinidad, salinidad y suelos más contaminados no son un problema.
- No requiere mantenimiento
- El vetiver puede vivir durante al menos 200 años.

EL VETIVER ES IDEAL PARA: [13]

- Taludes de carreteras
- Laderas costeras
- Presas
- Estribos de puentes
- Ríos y arroyos apartaderos
- Áreas de tierra expuesta trabajó

- Control de la erosión agrícola
- Colinas y acantilados - Control de deslizamiento de tierra.

ANTECEDENTES DEL USO DE VETIVER.

Imagen 20: Represa Santa Ana, municipio de Espinal, Tolima, obra de Estabilización y Control de Erosión.



Fuente: Vetivercolsas.com (2017) Disponible en <http://www.vetivercolsas.com/aplicaciones-del-pasto-vetiver/control-de-erosion> [acceso el 25 de Mayo del 2017]

9.3. HIDROSIEMBRA

La Hidrosiembra es un sistema de establecimiento en donde se mezclan semillas, fertilizantes, fibras (Mulch), y agua dentro de una máquina para obtener una mezcla homogénea que luego es aplicada sobre el suelo a revegetalizar, utilizando un cañón o manguera. Una vez aplicada la mezcla, esta, se adhiere al suelo creando una cubierta que lo protege de la erosión, retiene la humedad y crea un ambiente idóneo para la germinación de la semilla y el crecimiento de la vegetación. A medida que esta va creciendo, la mezcla se va descomponiendo, enriqueciendo orgánicamente al suelo. La Hidrosiembra, es un sistema más económico que la empradización con cespiones. Esta, es una alternativa para áreas de difícil acceso y lugares que simplemente no son idóneos para utilizar métodos tradicionales de siembra. La Hidrosiembra elimina la necesidad de mantos para el control de erosión. Esta tecnología es más efectiva y económica ya que:

- No requiere de preparación del sitio.
- Puede ser aplicada a terrenos con áreas de difícil acceso y pendientes bastantes empinadas.
- Reduce costos de instalación y mano de obra.
- Se entrelaza directamente con la tierra.
- No hay desperdicio de material.
- Es un sistema limpio y amigable con el medio ambiente.

Se ha comprobado que una Hidrosiembra correctamente aplicada es más efectiva que los mantos para el control de erosión. [10]

Imagen 21:Proceso de Hidrosiembra.



Fuente: Imágenes de Google.

Una gran ventaja de este sistema es la rapidez de colocación de la capa delgada de hidrosiembra. Su principal dificultad es la susceptibilidad al desprendimiento y arrastre por acción de las lluvias de gran intensidad o la escorrentía. Se requiere una superficie rugosa que facilite la adherencia y un suelo que facilite el establecimiento de vegetación.

Uno de los grandes problemas de la hidrosiembra es la proximidad de la semilla con altas concentraciones de fertilizantes químicos. Estos fertilizantes pueden quemar o dañar las semillas a menos que sean muy bien diluidos. En ocasiones se utilizan fertilizantes no solubles para demorar el efecto y proteger las semillas.

Generalmente se utiliza un gran tanque hasta 5000 litros de capacidad, una bomba generalmente centrífuga y una boquilla con manguera controlada por un operador. Las máquinas de hidrosiembra pueden alcanzar alturas hasta de 25 metros. Estas máquinas pueden utilizar presiones desde 30 hasta 200 PSI, dependiendo de la altura de bombeo que se requiera y de la viscosidad de la mezcla.

La mayoría de las máquinas de hidrosiembra funcionan con un porcentaje de hasta 10% de contenido de sólidos dentro del slurry y pueden colocar entre 1 y 2 litros de slurry por metro cuadrado. Entre mayor cantidad de slurry se coloque por m² el producto queda más uniforme. En ocasiones la hidrosiembra se coloca en varias etapas, en la primera etapa se coloca la semilla con el fertilizante y en la segunda etapa el Mulching de protección. Es común utilizar hidroretenedores en la mezcla de la hidrosiembra para ayudar a mantener la humedad mientras germina la semilla.

9.3.1. CRITERIOS PARA EL MANEJO DE LA HIDROSIEMBRA

En el procedimiento de hidrosiembra se recomienda seguir los siguientes criterios:

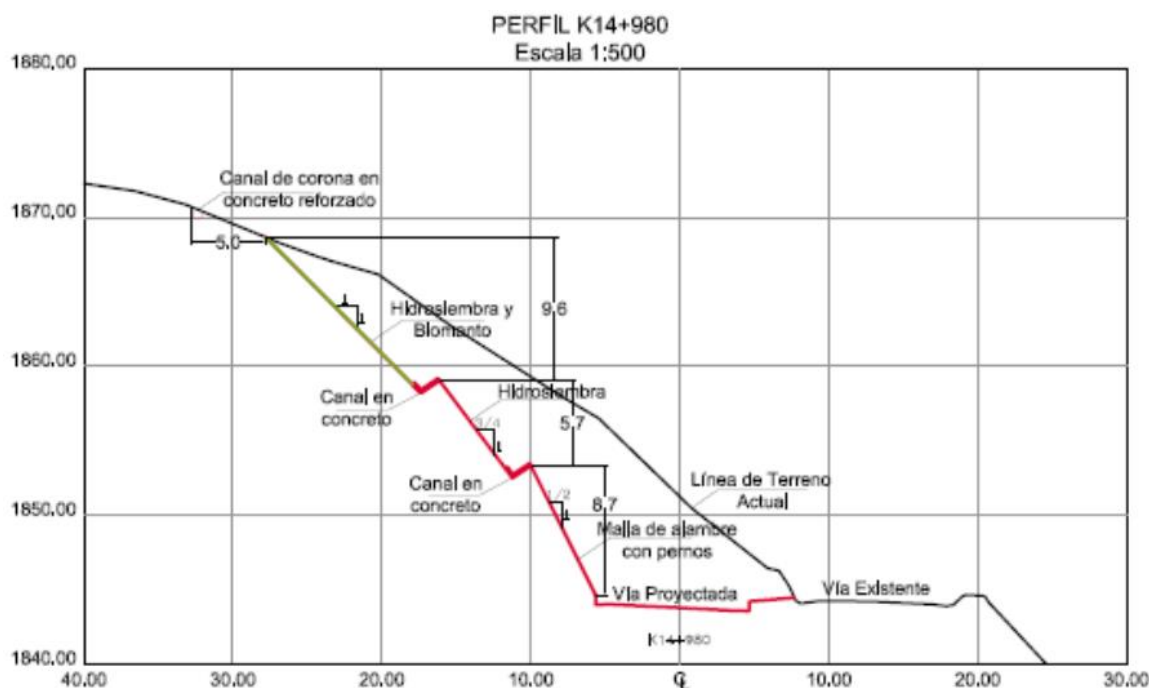
- Asegure un buen contacto entre la semilla y el suelo.
- El suelo no debe estar compactado pero debe ser firme.
- Instale zanjas para el desvío de las aguas lluvias y evite que las corrientes destruyan la hidrosiembra.
- Siembre un poco antes del inicio de la temporada de lluvias.
- Use semillas de germinación rápida.
- Diseñe adecuadamente la mezcla de semilla, fertilizantes, Mulching y aditivos.
- Aplique las semillas inmediatamente después de preparar el suelo. Es importante que el suelo esté suelto y húmedo.
- Las rugosidades en la superficie del terreno o escarificaciones deben ser horizontales.
- Primero aplique la semilla y después el Mulching.
- Aplique fertilizante de acuerdo a las recomendaciones de los expertos.
- Calibre muy bien la rata de aplicación de las semillas para que esta sea uniforme.
- Las semillas no deben quedar expuestas a la luz directa del sol. [1]

9.3.2. PROYECTOS DE HIDROSIEMBRA

Proyecto: Revegetalización de taludes con el método hidrosiembra en la ampliación de la vía **Bucaramanga a Cúcuta**.

Empresa Contratante: Consorcio Vías Nacionales [15]

Imagen 22: Ubicación de la Hidrosiembra en el Talud.



Fuente: Erosion.com.co (2013) Disponible en <<http://www.erosion.com.co/geotecnia-vial/85-via-bucaramanga-cucuta.html>> [acceso el 1 de Junio del 2017]

Imagen 23: Erosión en Taludes.



Fuente: Erosion.com.co (2013) Disponible en <<http://www.erosion.com.co/geotecnia-vial/85-via-bucaramanga-cucuta.html>> [acceso el 1 de Junio del 2017]

Tabla 46: Composición de la hidrosiembra usada en el proyecto

PRODUCTO	CANTIDAD
Agua	6 litros de agua por m ²
Mulch o celulosa	2 kg por m ²
Semillas de Brachiaria	0.025 kg por m ²
Adherente	0.045 kg de adherente
Hidroretenedores	0.06 kg por m ²
Abono Químico DAP	0.15 Kg por m ²
Abono Orgánico	3 kg de abono orgánico
Insecticida	0.002 L de Euradan Liquido
Fungicida	0.002 L
Agromanto	3200 de empaques de Medellín
Pines	0.15 Kg de pines en U calibre 10

Fuente: Erosion.com.co (2013) Disponible en <<http://www.erosion.com.co/geotecnia-vial/85-via-bucaramanga-cucuta.html>> [acceso el 1 de Junio del 2017]

Imagen 24: Hidrosiembra en la via Bucaramanga- Cucuta



Fuente: Erosion.com.co (2013) Disponible en <<http://www.erosion.com.co/geotecnia-vial/85-via-bucaramanga-cucuta.html>> [acceso el 1 de Junio del 2017]

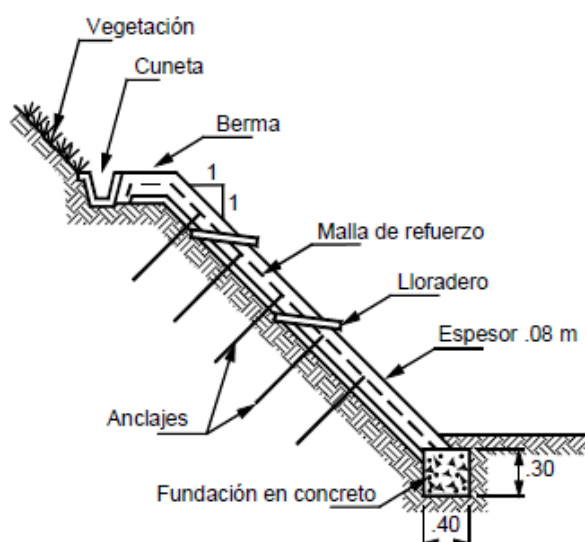
9.4. REVESTIMIENTO EN CONCRETO

La colocación de un revestimiento total en concreto es un sistema muy utilizado para taludes de gran pendiente. Los revestimientos en placa de concreto fundida en el sitio se consideran como uno de los sistemas de protección más efectivo que existe y es muy común su utilización.

Generalmente se requiere refuerzo cuando la pendiente de los taludes es mayor a 1H: 1V. Se acostumbra colocar elementos de anclaje debajo de la pantalla para evitar su deslizamiento. Estos elementos pueden consistir en varillas de acero (pernos) o elementos de concreto que se pueden fundir integralmente con la pantalla.

El revestimiento en concreto puede hacerse fundiendo directamente en el sitio, utilizando concreto corriente o empleando concreto o mortero lanzado. El espesor de estos revestimientos varía de 8 a 10 centímetros para morteros y de 10 a 20 centímetros para concretos. Se emplea comúnmente concreto armado. En los casos de pendiente muy suaves y velocidades bajas del agua se puede emplear mortero concreto simple. El concreto debe tener muy buena resistencia al desgaste y es común exigir resistencia de 4000 PSI. [1]

Imagen 25: Detalles de revestimiento en concreto.



Fuente: Jaime Suarez, Control de Erosión.

Los revestimientos en concreto son generalmente costosos inicialmente, pero tienen una vida útil bastante largo. Su principal inconveniente es la imposibilidad de establecimiento de vegetación; sin embargo, existen sistemas celulares de colocación del concreto dejando espacios para la vegetación.

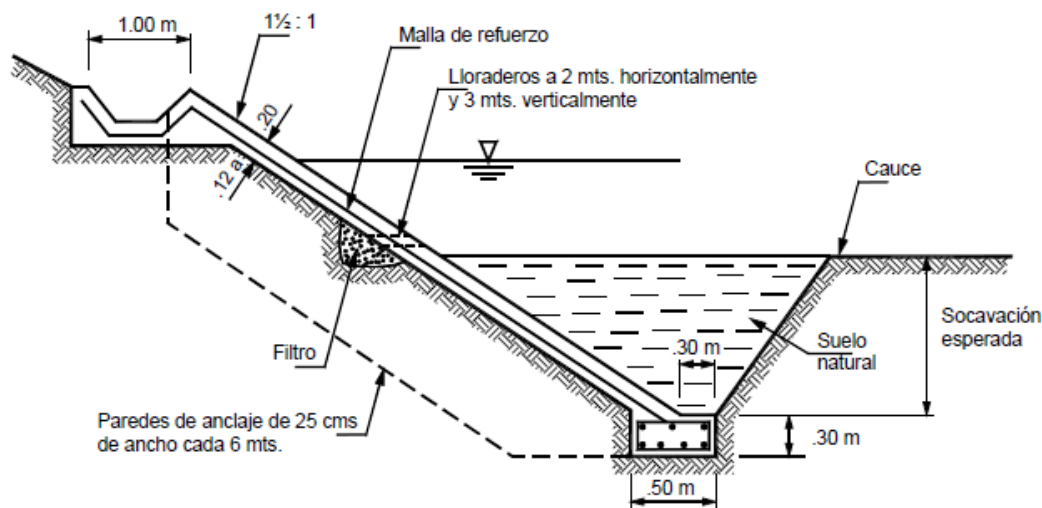
Se requieren juntas de contracciones impermeabilizadas, cada seis a nueve metros y aditivos en el concreto para disminuir el agrietamiento. Se acostumbra colocar juntas de contracción cada seis metros y de dilatación cada veinte a veinticinco metros.

Debido a la rigidez del revestimiento su fundación debe ser buena y estable. Deben proveerse lloraderos y se recomienda colocar una capa de material filtrante debajo de la placa de concreto de mínimo 150 mm de espesor.

Los espaciamientos mínimos de lloraderos de 75 mm diámetro es de 1.8 metros horizontalmente y tres metros en dirección vertical. En el sitio de cada lloradero debe colocarse una bolsa filtrante.

En los bordes perimetrales del revestimiento se recomienda construir vigas más profundas para evitar la socavación. El pie de la protección debe estar por debajo de la profundidad de socavación calculada o bajarla hasta la roca. En ocasiones se requiere colocar una tablestaca de pie para obtener la seguridad necesaria. [1]

Imagen 26: Ejemplo de revestimiento de concreto.



Fuente: Jaime Suarez, Control de Erosión

9.4.1. CONCRETO LANZADO

El concreto lanzado es el concreto hidráulico colocado por medio neumático y que se lanza por medio de alguna de estas dos formas: Vía seca o Vía húmeda.

Siendo la diferencia entre ellas el contenido de agua, la cual existe en el proceso de vía húmeda y está ausente en el de vía seca, lo que hace que su composición y forma de elaborar la mezcla varié de acuerdo con la vía seleccionada.

- En la vía seca: el agua se requiere para hidratar al cemento se adiciona en la boquilla del equipo lanzado, siendo el operador quien regula la cantidad de agua lo que causa cierta irregularidad en la mezcla que se deposita que se deposita en la superficie del elemento estructural.
- En la vía húmeda: el material que será lanzado es un concreto premezclado, diseñado según los requisitos específicos de la obra y en esta forma, obtener una mezcla uniforme y además, casi siempre se logra una reducción en el rebote del material.

Los procedimientos de lanzado se clasifican conforme al proceso utilizado, ya sea mezcla seca o mezcla húmeda y por el tamaño y graduación del agregado utilizado, ya sea grueso o fino.

El proceso de lanzado del concreto por vía seca consiste en:

Mezclar todos los ingredientes sólidos se mezclan para obtener una masa uniforme, los agregados, aditivos en polvo, las fibras si se especifican y los materiales cementantes se introducen en un alimentador especial llamado equipo de entrega o máquina lanzadora; cuando su tolva está llena se introduce aire comprimido en una manguera y se lleva el material hasta la boquilla, se ajusta la válvula de agua y se introduce agua a presión a través de un anillo de distribución. La que se mezcla totalmente con los otros ingredientes y se lanza a alta velocidad sobre la superficie a recubrir con el concreto lanzado.

El proceso de lanzado del concreto por vía húmeda consiste en:

Mezclar muy bien los ingredientes, incluyendo agua para formar una mezcla de mortero o concreto; la mezcla se introduce en la cámara del equipo de entrega o bomba de mezclado que empuja al concreto por la manguera hacia la boquilla donde se le inyecta aire comprimido para darle velocidad y darle las características de lanzado; el concreto se lanza por la boquilla a alta velocidad sobre la superficie a recubrir con el concreto lanzado.

En la comparación de estos dos procesos, se parte de la base de que ambos procesos pueden producir concreto lanzado que cumple con los requisitos de una construcción normal de tal forma que la selección de alguno de ellos para una

aplicación específica se realiza en función de las diferencias de carácter operacional y otras propiedades que pueden merecer tomarse en consideración; algunas de estas características

PROCESO POR VIA SECA: Este Proceso es más adecuado para colocar mezclas que contengan agregado ligeros o materiales refractarios; la manguera de lanzado es más fácil de mover; es más sencillo de mover a grandes distancias, pero se lanza menos volumen en función del tamaño de la manguera.

PROCESO POR VIA HUMEDA: El agua de mezclado se controla en la mezcladora, con mayor precisión; en la acción de lanzado, hay menos pérdida de material cementante y de material fino; normalmente existe menos rebote y por lo tanto, menos desperdicio; se lanza mayor volumen en función del tamaño de la manguera; las mezclas de concreto son más homogéneas. [16]

Tabla 47: Comparación entre los procedimientos de Mezcla Seca y Humeda para el concreto lanzado.

Mezcla Húmeda	Mezcla Seca
• Menos rebote durante el lanzado.	• Es más adaptable a las condiciones cambiantes del terreno sobre todo donde hay agua.
• Menos polvo.	• El equipo de mezcla seca es menos costoso y es fácil conseguir equipo.
• El control de calidad de los agregados es más fácil porque la fabricación es parecida a la del concreto.	• El equipo de mezcla seca más compactado y por lo tanto más adaptable en sitios con espacio limitado.
• La calidad del concreto lanzado no depende tanto de la habilidad del operador de lanzado ya que la cantidad de agua no depende de él.	• Mayores pérdidas de rebote.
• El operador controla directamente la velocidad de impacto de las partículas y por tanto su compactación ya que él controla el flujo del aire.	• Mayor cantidad de polvo.
• Es más fácil de limpiar	
• Tiene menos costos de mantenimiento.	
• Rinde mayor producción.	

Fuente: Jaime Suarez, Control de Erosión

Como en un principio se concibió realmente el concreto lanzado era un mortero; la introducción de agregado grueso se originó con la evolución de los equipos y técnicas de lanzado para obtener una disminución del contenido de agua en la mezcla por disminución del área superficial de los agregados, la reducción de la contracción por secado del concreto por el aumento de agregado grueso y disminución de agregado fino en la mezcla húmeda; la mejora de la densidad del concreto en el sitio y disminución del costo de la mezcla. [16]

Tabla 48: Límites Granulométricos de los agregados para concreto lanzado.

Agregados Finos Malla		Porcentaje que pasa la malla por peso
3/8"	9.5mm	100
No. 4	4.75mm	95 a 100
No.8	2.36mm	80 a 100
No.16	1.18mm	50 a 85
No.30	0.60mm	25 a 60
No.50	0.30mm	10 a 30
No.100	0.15mm	20 a 10

Agregados Grueso Malla	No. 8 a 3/8"	No. 4 a 1/2"	No. 4 a 3/4"
1"	-	-	-
3/4"	-	100	90-100
3/8"	85-100	40-70	20-55
No. 4	oct-30	0-15	0-10
No.8	0-10	0-5	0-5
No.15	0-5	-	-

Fuente: Jaime Suarez, Control de Erosión

9.4.1.1. USOS

El concreto lanzado es especial para recubrimiento de taludes y túneles, así como para reparación estructural. Sus principales usos son:

- Revestimiento de túneles
- Estabilización de pendientes de roca
- Estabilización de taludes en carreteras, minas, obras subterráneas y presas.
- Recubrimiento del acero para protegerlo del fuego.
- Reparación de concreto deteriorado.
- Placa de revestimiento
- Techos
- Secciones delgadas y ligeramente reforzadas.
- Concreto arquitectónicos
- Concretos estructurales
- Cisternas y tanques de agua
- Albercas y lagos artificiales.
- Rocas artificiales.

- Muelles, diques y represas. [17]

9.4.1.2. PROPIEDADES

Existen muchos tipos de mezclas de concreto que pueden lanzarse como son: concreto simple, concreto con humo de sílice o cenizas volantes, concreto reforzado con fibras, concreto de alto comportamiento, etc. Estos diferentes tipos de concreto también tienen diferentes propiedades cuando están endurecidos. En general, al igual que el concreto convencional el concreto lanzado en sus características se ve afectado por la composición de la mezcla; pero consecuencia del método de colocación, algunas características del concreto lanzado endurecido se afectan por el efecto de lanzado tales como la compactación, el rebote y la orientación de las fibras.

La relación agua/cementante es el parámetro importante para el concreto lanzado por vía húmeda y la relación inicial cemento/agregado lo es para el concreto lanzado por vía seca. Si se disminuye la relación a/cm se mejoran las propiedades de resistencia, permeabilidad y durabilidad; la inclusión de aditivos acelerantes y de los materiales cementantes, se modifican las propiedades físicas, en especial, la permeabilidad y durabilidad. El uso de fibras mejora la tenacidad. El curado adecuado del concreto lanzado, es igual de importante que para el concreto convencional ya que con el curado siempre se pueden alcanzar las propiedades físicas y mecánicas de diseño. Concretos de alto comportamiento como de alta resistencia, baja permeabilidad, de resistencia química, etc., que se obtiene con el uso de aditivos especiales y materiales cementantes. [16]

“Una mezcla tipo concreto lanzado contiene los siguientes porcentajes de componentes secos:

- Cemento → 15 - 20%
- Agregado grueso → 30 - 40%
- Agregado fino o arena → 40 - 50%” [1]

9.4.1.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Con el control de la relación cemento/agregado en las mezclas de concreto lanzado por vía seca, es común tener resistencias de 40 a 50 MPa, aunque también es posible alcanzar resistencias del orden de 85 MPa. En concreto lanzado por vía húmeda, se puede obtener concreto de alta resistencia del orden de 100 MPa, utilizando bajas relaciones agua/cementante, aditivos reductores de agua de alto rango. Usualmente las resistencias de 30 a 50 MPa son comunes en concreto lanzado por vía húmeda. En la rehabilitación de estructuras, taludes, túneles y apoyo en obras subterráneas, es más importante obtener resistencias a temprana edad que alcanzar la resistencia última a edades especificadas por lo que se utilizan aditivos que aceleran la resistencia mecánica temprana, aunque también, se puede reducir la resistencia a mayor edad y la durabilidad, comparadas con un concreto del mismo diseño, pero sin aditivos que acelere la resistencia. [17]

PROPIEDADES DE FLEXION

La ductilidad del concreto lanzado se diseñaba con mallas de acero soldadas, actualmente, se obtiene mediante la inclusión de fibras, ya sean de acero o sintéticas. El desarrollo del refuerzo con las fibras, proporcional al concreto lanzado tenacidad y capacidad de carga después de agrietarse y también, le ayuda a restringir el agrietamiento por contracción por secado y desde luego, aumenta la resistencia al impacto. [18]

ADHERENCIA

Como el concreto lanzado es impulsado hacia una superficie preparada para recibirlo, la adherencia es la propiedad más destacada del concreto lanzado y normalmente es excelente con superficies de concreto, mampostería, rocas, acera y muchos otros materiales.

El valor de la adherencia normalmente se mide con el ensayo llamado pull-off y el valor mínimo que se debe obtener es de 1 MPa por lo que es obligado hacer una preparación de la superficie del elemento a recubrir ya que las características del concreto influyen menos en la adherencia que la preparación de la superficie. A la fecha existen varios métodos buenos de preparación como: el hidrofresado o chorro de arena, etc. Que pueden emplearse en forma individual o en forma combinada. Las características de humedad de la superficie, en el momento de aplicación del concreto lanzado, también son importantes para alcanzar una buena adherencia, siendo la mejor condición la saturada y superficialmente seca; muy seca o muy húmeda, reduce la adherencia. Si se aplica el concreto en varias capas, también es necesario cepillar la superficie para eliminar las lechadas o remover las partículas sueltas para mantener las superficies limpias entre cada aplicación para mejorar la adherencia. [18]

CONTRACCION POR SECADO

La contracción por secado es una característica importante, relacionada con el agrietamiento del concreto y la durabilidad de la adherencia, sobre todo cuando el concreto es utilizado para la reparación de estructuras de concreto. La contracción por secado del concreto lanzado, no es un valor único sino que depende de las características y proporciones de la mezcla; se han determinado valores dentro del rango de 0.06% a 0.10% a los tres meses de edad que señala que la contracción por secado del concreto lanzado es mayor que la del concreto convencional ya que en general el concreto lanzado tiene menor cantidad de grava y mayor cantidad de material cementante y agua; también, por que se emplean aditivos que aceleran el tiempo de fraguado y resistencia en la dosificación del concreto lanzado, los cuales propician el aumento de la contracción y el posible agrietamiento. [18]

ABSORCION Y VACIOS PERMEABLES

Estas características del concreto lanzado se pueden determinar aplicando el ensayo normalizado para determinar la densidad, absorción y vacíos en concreto endurecido. Los valores de la absorción y vacíos son útiles para identificar un concreto lanzado deficientemente compactado. Se ha definido el contenido de vacíos como aceptable si este está comprendido en el rango de 14 a 17% y de la absorción, aunque es variable según el tipo de agregados, en el rango de 6 a 9%. En general, valores altos de absorción y vacíos indican la mala calidad y durabilidad reducida del concreto lanzado en el sitio. [17]

9.4.1.4. RECOMENDACIONES

- Al momento de establecer las especificaciones del concreto, tener en cuenta las consideraciones relativas a la durabilidad de las estructuras consignadas en el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismoresistentes NSR vigentes, y práctica recomendadas por el American Concrete Institute ACI.
- Los controles ligados al proceso de colocación que se recomiendan hacer en el proyecto son: adaptabilidad, compactibilidad y resistencia a la compresión en artesa. Estos ensayos deben ser realizados de acuerdo con las especificaciones del proyecto
- Controlar los procedimientos propios del sistema de colocación por lanzado
- La toma del asentamiento debe realizarse una vez el concreto llegue a la obra; se debe tener en cuenta que si se hace pasados 30 minutos, se verá afectada la confiabilidad de dicho ensayo.
- El concreto debe ser colocado una vez llegue al proyecto sin superar un tiempo total en obra de 45 minutos.
- Cumplir con las normas técnicas existentes para la evaluación de la calidad de los concretos. [17]

9.5. CONTROL DE AGUAS SUPERFICIALES

“El objetivo principal de estos métodos es el de disminuir la presión de poros y en esa forma aumentar la resistencia al corte y eliminar las fuerzas hidrostáticas desestabilizantes.” [3]

DRENAJE SUPERFICIAL

El agua que cae en forma de lluvia sobre una superficie se distribuye de tres formas: se evapora por la acción del sol, se infiltra en el terreno y por último se desliza directamente sobre el terreno en busca de una corriente de agua.

El drenaje es la herramienta para controlar la influencia del agua sobre un talud, pues la inexistencia o la ineficiencia de obras de drenaje traen como consecuencia el deterioro e inestabilidad de los terraplenes y la erosión de los taludes, manifestándose en asentamientos y deslizamientos.

El sistema de recolección de aguas superficiales debe captar la escorrentía tanto del talud como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio seguro lejos del deslizamiento. El agua de escorrentía debe en lo posible, desviarse antes de que penetre el área del deslizamiento. Esto puede lograrse con la construcción de zanjas interceptoras en la parte alta del talud, llamadas zanjas de coronación. No se recomienda en problemas de taludes la utilización de conducciones en tubería por la alta susceptibilidad a agrietarse o a taponarse, generando problemas de infiltración masiva concentrada.

Por otro lado, el agua que cae por lluvias directamente sobre la superficie del talud debe ser evacuada lo más rápidamente posible, evitando al mismo tiempo que su paso cause daños considerables al talud, por erosión, almacenamientos e infiltraciones; perjuicios que pueden ser evitados, tratando el talud con una serie de medidas que favorezcan el drenaje. [3]

9.5.1. ZANJAS DE CORONACION:

Son utilizadas para interceptar las aguas lluvias, evitando el paso por el talud, se recomienda que las zanjas de coronación sean totalmente impermeabilizadas, proveerse una suficiente pendiente para garantizar un rápido drenaje del agua captada y evitar infiltraciones que puedan afectar el talud.

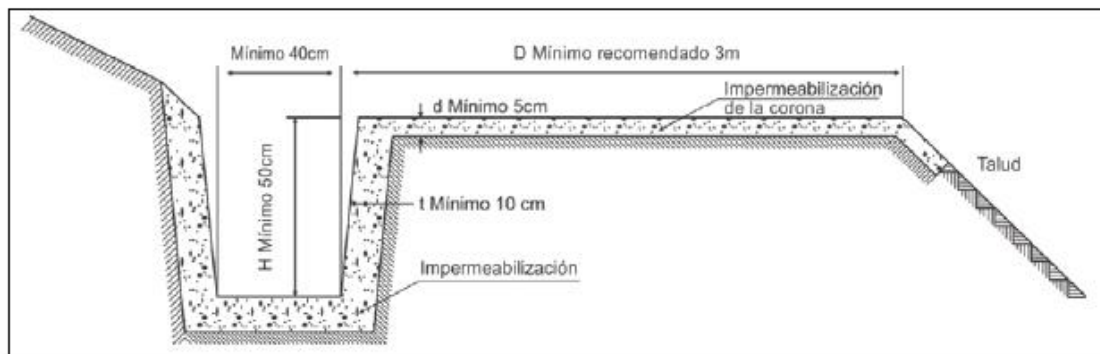
El recubrimiento de este tipo de zanjas se debe decidir en función de la velocidad del flujo y del tipo de suelos, ya que en suelos permeables las infiltraciones pueden llegar a desestabilizarlos taludes.

Sin embargo, se anota que a pesar de lograrse originalmente una impermeabilización, con el tiempo se producen movimientos en el terreno que causan grietas en el impermeabilizante y por lo tanto infiltraciones que conllevan a una disminución de la resistencia del suelo y por ende a su falla [19]

9.5.1.1. LOCALIZACIÓN DE LAS ZANJAS DE CORONACIÓN.

La separación mínima recomendada para las zanjás de coronación es de tres metros 3.0 m desde el borde de la corona del talud, para evitar que se convierta en activadora de un deslizamiento en corte recientes o en una nueva superficie de falla en deslizamientos activos; o se produzca la falla de la corona del talud. Se procura que quede localizadas a lo largo de una curva de nivel para un correcto drenaje y que estén suficientemente atrás de las grietas de tensión en la corona. [18]

Imagen 27:Detalle de Zanjás de coronación.



Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras 2009.

*Las dimensiones de la imagen pueden variar teniendo en cuenta la topografía de la zona y el cálculo de los respectivos caudales

10. PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE LAS METODOLOGIAS

Otros materiales a cotizar para la solución del problema en el talud de estudio que se presenta en el numeral 12 fueron Geotextiles, Geomallas, Mantos, hidrosiembra, Pasto Vetiver.

10.1. GEOTEXTILES

Son textiles de propileno permeables sintéticos, resistentes a la tensión y al punzonamiento, usados como parte integral de los suelos y cimentación, los Geotextiles se les utiliza como separadores entre capas de suelo, como refuerzo o como filtro. Estos permiten un adecuado drenaje de canales y ayudan a separar la tierra de diferente granulometría para la estabilización de terrenos y para el control de la erosión. La durabilidad de un geotextil es función de la resistencia de las fibras poliméricas, el principal problema que se detecta en los Geotextiles es su poca resistencia al ataque de los rayos ultravioleta del sol. La mayoría de estos Geotextiles se descomponen por acción de la luz solar. Hay dos tipos de Geotextiles: [1]

TEJIDOS

Estos Geotextiles son de gran uso,

- ❖ Estabilización de carreteras, muros y taludes
- ❖ Estructuras de drenaje
- ❖ Refuerzo de suelos

NO TEJIDOS

Los Geotextiles NO tejidos se utilizan en:

- ❖ Separación, drenaje y filtración en suelos (canales, gaviones, etc.)
- ❖ En protección de Geomembranas y rehabilitación
- ❖ En el control permanente de la erosión

10.1.1. PROCESO DE INSTALACION GEOTEXTILES EN TALUDES

- ✓ **PASO 1:** Perfilado y desprendimiento de tierra suelta en el talud, corte de vegetalización que interrumpe el proceso de la instalación.
- ✓ **PASO 2:** Suministro e instalación de geotextil, este deberá estar sin arrugas o dobleces, también llevara barras ancladas (3/8") recubiertas con inhibidor de corrosión, la distancia de separación entre anclajes es de 1 a 1.5m de distancia una de la otra. Estas barras van acompañadas de platinas galvanizadas. (Imagen 28) [21]

- ✓ **PASO 3:** Recubrimiento de la superficie de la corona en concreto con malla electro soldada. El espesor de concreto son 0.08m en promedio. Este concreto funciona como amarre superior del geotextil y protector de corona del talud. (Imagen 29) [21]

Imagen 28: Instalación del Geotextil en la UPB.



Fuente: Imágenes de Google.

Imagen 29: Instalación del Geotextil en la UPB.



Fuente: Autores del Proyecto.

10.1.2. CONTIZACION GEOTEXTIL T1700 CON BARRAS ANCLADAS PARA EL CONTROL DE EROSION

Para tener un valor aproximado de las diferentes metodologías aplicables al talud se realizaron diferentes cotizaciones con el ánimo de establecer la más económica y lograr adaptarla a un formato como el mostrado en la Tabla 49.

Tabla 49:APU De Geotextiles.

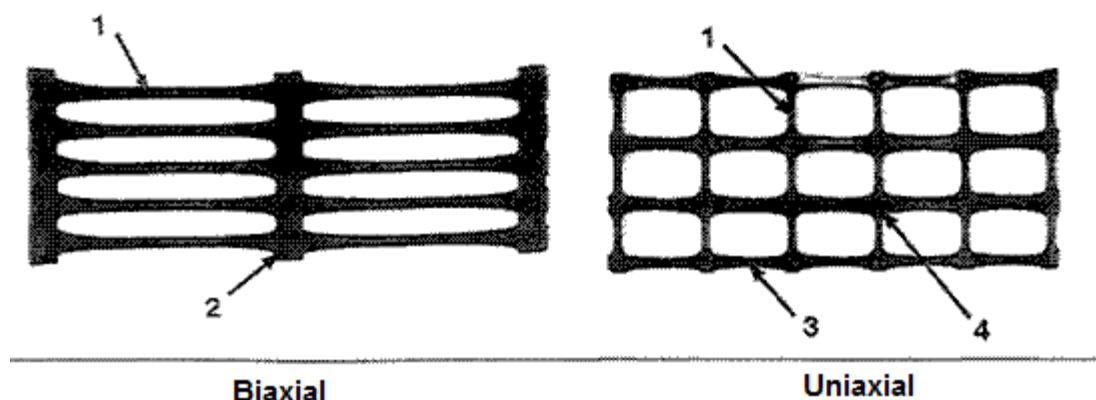
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS GEOTEXTILES PARA CONTROL DE EROSIÓN (m²)					
EQUIPO	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	CANTIDAD	RENDIMIENTO	TOTAL \$
Herramientas varias	und	\$700	1	1	\$700
					\$5,000
MATERIALES	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	CANTIDAD	DESPERDICIO	TOTAL \$
Platinas Galvanizadas	und	\$733	4	1.05	\$3,079
Geotextil T1700	m²	\$2,613	1	1.05	\$2,744
Barras de anclaje	und	\$3,400	4	1.05	\$14,280
Mortero	m³	\$3,350	1	1.05	\$3,518
Malla electro soldada	m²	\$2,661	1	1.05	\$2,794
					\$26,414
MANO DE OBRA	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	PRESTACIONES	RENDIMIENTO	TOTAL \$
Instalación 1 Oficial + 2 Ayudante	Jornal	\$200.000	240.000	70	\$6,286
					\$6,286
Total Costos directos por m² de los Taludes protegidos con Geotextil control de erosión (\$)					\$33,400

Fuente: Autores del Proyecto.

10.2. GEOMALLAS

Las Geomallas son mallas plásticas con orificios de gran tamaño, los cuales son de uso común para refuerzos del suelo, pero también se usa como separadores entre capas de material grueso, como canastas para gaviones o para mejorar las características de otro Geosintéticos. Las Geomallas se fabrican de polietileno de alta densidad, poliéster o polipropileno. [3]

Figura 41: Ejemplos típicos de Geomallas para refuerzo.



Fuente: Imágenes de Google.

Estas Geomallas son mallas de refuerzo para evitar la erosión en taludes, uno de los problemas más comunes que sufren son derivados de la erosión y las causas pueden ser variadas:

- ❖ La pendiente del talud, dependiendo de esta inclinación la erosión se agrava en mayor o menor medida.
- ❖ La capacidad de absorción del terreno es menor a la cantidad de precipitación sobre el mismo.
- ❖ El número de surcos o torrentes que se forman.
- ❖ La cantidad de radiación solar también es un gran problema, una gran cantidad de radiación solar provoca una mayor erosión.

10.2.1. PROCESO DE INSTALACION GEOMALLAS EN TALUDES

- ✓ **PASO 1:** Para la instalación de esta malla en el talud se deberán realizar algunas acciones previas antes. Se tiene que trabajar el terreno de forma que se eliminen todos aquellos desniveles presentes o cárcavas.
- ✓ **PASO 2:** El modo de instalación o aplicación de la malla de refuerzo se efectúa desde la parte de arriba del talud hasta la parte inferior.
- ✓ **PASO 3:** Se debe tener en cuenta una zanja para anclar la malla, a una distancia no menor a un metro del borde del talud y con unas medidas de 20 cm de ancho por 20 cm de profundidad. [11]

- ✓ **PASO 4:** El número de anclajes en la zanja de sujeción de la malla volumétrica debe ser de 1xm2. [11]
- ✓ **PASO 5:** En el momento que la malla quede asegurada, habrá que desenrollarla sobre el talud siguiendo el sentido de bajada de éste.
- ✓ **PASO 6:** Este material tiene que solaparse entre 10 y 20 cm entre rollos. Del mismo modo, se instalarán piquetas de unión a una distancia de un metro. En el caso de solapes al final de un rollo y el inicio del siguiente, el solape debe ser de 100cm y se debe reforzar con más piquetas de anclaje aumentando la densidad de estas a 2xm2. [11]
- ✓ **PASO 7:** Finalmente se debe realizar una inspección de la instalación. Cuando se haya acabado de instalar la malla de refuerzo se le realizara un examen del estado de las piquetas de unión entre rollos. [11]

Imagen 30: Instalación de Geomallas.



FUENTE: Texdelta (2017), Disponible en < <http://texdelta.com/blog/mallas-de-refuerzo-para-evitar-la-erosion-en-taludes/> >
[Acceso el 25 de mayo del 2017]

10.2.2. COTIZACION GEOMALLA PARA EL CONTROL DE EROSION

Para tener un valor aproximado de las diferentes metodologías aplicables al talud se realizaron diferentes cotizaciones con el ánimo de establecer la más económica y lograr adaptarla a un formato como el mostrado en La Tabla 50.

Tabla 50:APU De Geomallas.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS GEOMALLAS PARA CONTROL DE EROSIÓN (m²)					
EQUIPO	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	CANTIDAD	RENDIMIENTO	TOTAL \$
Herramientas varias	und	\$700	1	1	\$700
					\$700
MATERIALES	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	CANTIDAD	DESPERDICIO	TOTAL \$
Geomallas	m²	\$13,236	1,00	1.05	\$13,898
Grapas	und	\$400	1,00	1.05	\$420
					\$14,318
MANO DE OBRA	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	PRESTACIONES	RENDIMIENTO	TOTAL \$
Instalación 1 Oficial + 2 Ayudante	Jornal	\$105,000	126,000	75	\$3,080
					\$3,080
Total Costos directos por m² de los Taludes protegidos con Geomallas para control de erosión (\$)					\$18,098

Fuente: Autores del Proyecto.

10.3. MANTOS DE REVEGETACIÓN

Los mantos son lienzos planos utilizados para cubrir el terreno desnudo expuesto a problemas de erosión. Su función principal es proteger el terreno de los efectos de la escorrentía superficial evitando así la pérdida de suelo y de taludes. Estos mantos son fabricados especialmente para uso en la superficie del suelo que puede ser temporal o permanente, este producto es de fácil y rápida instalación, son de gran aporte a la protección inmediata después de su instalación en ausencia de vegetación. Las características de estos mantos es su resistencia que permite utilizarse en taludes de alta pendiente, es un producto inerte de naturaleza permanente y durable por un largo periodo de tiempo, gracias a su alta resistencia a los rayos U.V.

Este sistema de mantos puede realizarse en conjunto con otro método como la hidrosiembra. Estas metodologías juntas son de gran ayuda para el excelente control de erosión en taludes de altas pendientes, debido a que ambos métodos se comportan bien en terrenos inclinados.

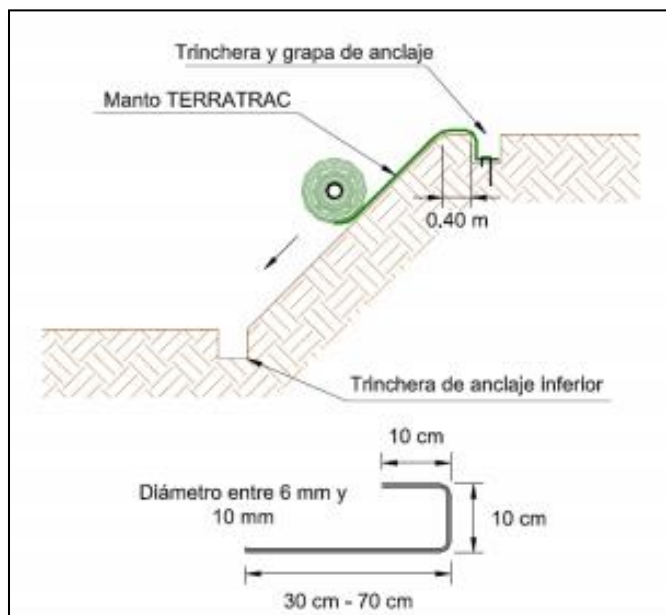
10.3.1. PROCESO DE INSTALACION DE MANTOS EN TALUDES

Para la instalación de los mantos hay dos tipos de instalación dependiendo si se quiere realizar con hidrosiembra para obtener vegetación y así ayude más rápido al control de la erosión o la instalación solo del manto que también controla la erosión y es resistente a los rayos U.V.

- ✓ **PASO 1:** Prepare el terreno realizando una debida limpieza del talud, retirando troncos, piedras y cualquier elemento suelto que dificulte el contacto directo del manto con el suelo. También es necesaria la excavación de las trincheras de anclaje en la corona y en la pata con dimensiones de 0.20m x 0.20m como mínimo. [22]
- ✓ **PASO 2*** (añadiendo hidrosiembra): Si se requiere establecimiento de vegetación en el talud, este es el momento donde se debe realizar ese procedimiento. Se debe realizar una mezcla fértil incluyendo semillas y fertilizantes, disponga esta mezcla sobre la superficie del talud antes de la instalación del manto. [22]
- ✓ **PASO 3:** Ancle el manto en la cabecera del talud sujetándolo con una línea de grapas o estacas, rellene y compacte la zanja después del engrape. Desenrolle el manto sobre la superficie del suelo, todos los mantos deberán asegurarse sobre la superficie por medio de grapas. [22]

Las grapas para el anclaje del manto pueden ser de tipo “J” en varilla metálica entre 6mm y 10mm de diámetro.

Figura 42: Extensión del Manto.

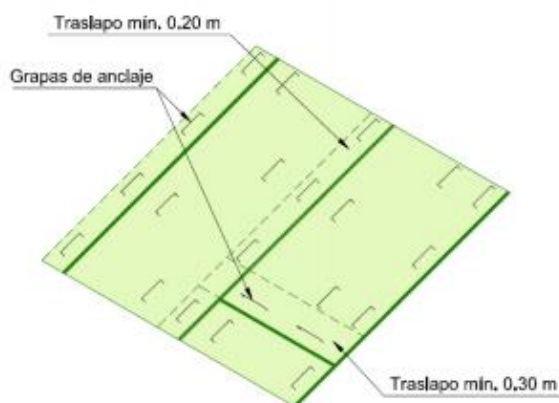


FUENTE: www.geomatrix.com.co

GEOMATRIX (2017), Disponible en <www.geomatrix.com.co> [acceso el 25 de mayo del 2017]

- ✓ **PASO 4:** Entre las franjas paralelas se dejarán traslapes de 0.20m como mínimo. Estos deberán asegurarse al terreno con una hilera de grapas de anclaje separados entre 0.50m y 1.0m. Los traslapes transversales al sentido de la pendiente deberán tener 0.30m como mínimo y se deberán asegurar con una hilera de grapas separadas cada 0.50m.

Figura 43: Traslapes y juntas.



FUENTE: www.geomatrix.com.co

GEOMATRIX (2017), Disponible en <www.geomatrix.com.co> [acceso el 25 de mayo del 2017]

NOTA: En condiciones de suelo suelto, puede que necesiten grapas o estacas de más de 15cm de largo para asegurar correctamente el manto. [9]

10.3.2. COTIZACION MANTO DE REVEGETACIÓN PARA EL CONTROL DE EROSION

Para tener un valor aproximado de las diferentes metodologías aplicables al talud se realizaron diferentes cotizaciones con el ánimo de establecer la más económica y lograr adaptarla a un formato como el mostrado en la Tabla 51.

Tabla 51:APU de Manto de Revegetación.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS REVEGETACIÓN CON MANTOS PARA CONTROL DE EROSIÓN (m ²)					
EQUIPO	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	CANTIDAD	RENDIMIENTO	TOTAL \$
Herramientas varias	und	\$700	1	1	\$700
					\$700
MATERIALES	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	CANTIDAD	DESPERDICIO	TOTAL \$
Mantos Control de erosión(TRM500)	und	\$7,946	1,00	1.05	\$8,343
Grapas	m ³	\$400	3,00	1.05	\$1,260
					\$9,603
MANO DE OBRA	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	PRESTACIONES	RENDIMIENTO	TOTAL \$
Instalación 1 Oficial + 2 Ayudante	Jornal	\$105,000	126,000	75	\$3,080
					\$3,080
Total Costos directos por m ² de los Taludes protegidos y revegetados con Manto control erosión (\$)					\$13,383

Fuente: Autores del Proyecto.

10.4. HIDROSIEMBRA

La hidrosiembra es la técnica más habitualmente utilizada en la revegetación de taludes, donde se realiza el manejo y control de la erosión. Consiste en la proyección hidráulica sobre la superficie del talud de una mezcla de semillas, fibras, fertilizantes, acondicionadores del terreno, fijantes y otros productos coadyuvantes.

Esta metodología es de gran uso en taludes de altas pendientes, la hidrosiembra elimina la necesidad de instalación de mantos para el control de erosión. Esta tecnología es más efectiva y económica ya que: [23]

- ✓ Reduce costos de instalación y mano de obra
- ✓ Se entrelaza directamente con la tierra
- ✓ No hay desperdicio de material
- ✓ Es un sistema limpio y amigable con el medio ambiente

10.4.1. PROCESO DE INSTALACION DE LA HIDROSIEMBRA

- ✓ **PASO 1:** El talud por tratar deberá tener un adecuado encauce de las aguas, debido a las lluvias que se pudieran presentar durante la instalación y que pudieran causar daños al trabajo, los cuales, en caso de que se produzcan, deberán ser reparados por cuenta y a cargo del Constructor. Adicionalmente, se deberá realizar una limpieza previa, para evitar todo material suelto o susceptible de caer sobre la zona que se va a proteger. [21]
- ✓ **PASO 2:** Tras el trabajo de preparación de la superficie, se procederá inmediatamente a la hidrosiembra que, en una o dos pasadas, deberá aportar todos los elementos al suelo: semillas, fertilizantes, Mulch y adherente. Un buen resultado dependerá de que no llueva durante el lapso que transcurra entre el término de la preparación del suelo y el inicio de la hidrosiembra. Si la lluvia ocurre, se deberá repetir el proceso. [21]
- ✓ **PASO 3:** Se deberá instalar una polisombra, esta se ubicará una vez se tenga revegetalizada el área, con el fin de protegerla de la lluvia, aguas de escorrentía, los fuertes vientos, las aves y otros factores del medio que puedan influir en su proceso de germinación, así como crear condiciones de temperatura adecuada para dicho proceso. Su instalación consiste en extender los rollos de la polisombra ya sea de forma vertical u horizontal a una altura promedio de 0.50 a 1m. Para su sostenimiento se utilizan un anclaje del talud y en la parte inferior del mismo. Se dejará una distancia promedio de 3 a 4 metros una estaca de la otra; luego en cada estaca se amarra la polisombra donde se requiera. [21]

- ✓ **PASO 4:** Terminada la actividad las áreas de trabajo deben quedar limpias y sin obstáculos. El mantenimiento de las zonas revegetalizadas con hidrosiembra consiste en riego con agua realizado de dos a tres veces por semana dependiendo de las condiciones climáticas, tales como exceso de calor y excesivas lluvias. [21]

10.4.2. COTIZACION HIDROSIEMBRA PARA EL CONTROL DE EROSION

Para tener un valor aproximado de las diferentes metodologías aplicables al talud se realizaron diferentes cotizaciones con el ánimo de establecer la más económica y lograr adaptarla a un formato como el mostrado en la Tabla 52.

Tabla 52:APU de Hidrosiembra.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS REVEGETACIÓN CON HIDROSIEMBRA PARA CONTROL DE EROSIÓN (m ²)					
EQUIPO	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	CANTIDAD	RENDIMIENTO	TOTAL \$
Herramientas varias	und	\$700	1	1	\$700
					\$700
MATERIALES	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	CANTIDAD	DESPERDICIO	TOTAL \$
Hidrosiembra	m ²	\$9,500	1,00	1.05	\$9,975
Polisombra	m	\$3,500	1,00	1.05	\$3,675
Gallinaza	Kg	\$1,000	0,50	1.05	\$525
Semillas	Kg	\$20,00	0,03	1.05	\$630
Hidroretenedor (aserrín o cascara de arroz)	Kg	\$250	3,20	1.05	\$840
					\$15,645
MANO DE OBRA	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	PRESTACIONES	RENDIMIENTO	TOTAL \$
Instalación 1 Oficial + 2 Ayudante	Jornal	\$105.000	126.000	70	\$3,300
					\$3,300
Total Costos directos por m ² de los Taludes protegidos y revegetados con Hidrosiembra (\$)					\$19,645

Fuente: Autores del Proyecto.

10.5. PASTO VETIVER

La planta vetiver es una especie vegetal que ha sido utilizada por siglos como una herramienta natural para el control de la erosión, estabilización de taludes, protección de obras, rehabilitación de áreas degradadas y/o contaminadas.

El vetiver por sus características morfológicas y fisiológicas, usado solo o en combinación con otras prácticas, es de gran utilidad para ser usado en bioingeniería y estabilización biotécnica en la realización de obras de manejo de suelos y aguas, estabilización de taludes, prevención y control de derrumbes de tierra, o para el reforzamiento y protección de estructuras, aumentando su desempeño y vida útil, disminuyendo los costos de mantenimientos y en otros casos reemplazando totalmente las estructuras.

Un método eficaz para la estabilización de canales de desagüe consiste en sembrar una hilera de Vetiver en la parte superior o a los lados del canal para retener sedimentos y otra sobre los bordes para protegerlos de la erosión y al mismo tiempo atrapar más sedimentos, este sistema no solo estabiliza los bordes del canal, sino que al mismo tiempo ahorra en costos de limpieza periódica de los canales y desagües.

Esta planta en conjunto con otras metodologías para el manejo y control de la erosión, como los mantos de revegetación, pueden ser combinaciones de gran calidad con una respuesta rápida en el control de la erosión.

10.5.1. PROCESO DE INSTALACION DEL PASTO VETIVER

- ✓ **PASO 1:** Para este tipo de obra se requiere una adecuación de los terrenos afectados, una remoción de escombros y una construcción de un sistema de trinchos en madera o guadua de protección del material a utilizar, después de un tiempo el material se incorporará al suelo.
- ✓ **PASO 2:** Se realiza la plantación del vetiver en hileras perpendiculares a la pendiente de tal forma que atrape los sedimentos que se transporta pendiente abajo. Se debe plantar de la siguiente manera; a 1 metro entre hileras y 0.15m entre plantas. [24]
- ✓ **PASO 3:** Es importante aclarar para un buen manejo de control de erosión con vetiver, se debe realizar un mantenimiento permanente del cultivo, por lo menos cada 3 meses, con el fin de que su sistema radicular continúe su desarrollo normal hasta los cinco años, edad en la cual su sistema radicular debe estar en aproximadamente 5 metros de profundidad y entrelazado entre planta y planta logra la firmeza y afianzamiento definitivo esperado. [24]

10.5.2. COTIZACION DE PASTO VETIVER

Para tener un valor aproximado de las diferentes metodologías aplicables al talud se realizaron diferentes cotizaciones con el ánimo de establecer la más económica y lograr adaptarla a un formato como el mostrado en la Tabla 53.

Tabla 53:APU de Pasto Vetiver.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS REVEGETACIÓN CON PASTO VETIVER PARA CONTROL DE EROSIÓN (m ²)					
EQUIPO	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	CANTIDAD	RENDIMIENTO	TOTAL \$
Herramientas varias	und	\$700	1	1	\$700
					\$700
MATERIALES	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	CANTIDAD	DESPERDICIO	TOTAL \$
Tierra Negra	m ³	\$20,00	0,04	1.05	\$840
Esquejes de Vetiver	und	\$210	12,00	1.05	\$2,646
Gallinaza	Kg	\$1,000	0,50	1.05	\$525
					\$4,011
MANO DE OBRA	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	PRESTACIONES	RENDIMIENTO	TOTAL \$
Instalación 1 Oficial + 2 Ayudante	Jornal	\$150,000	180,000	50	\$6,600
					\$6,600
Total Costos directos por m ² de los Taludes protegidos y revegetados con Planta Vetiver (\$)					\$11,311

Fuente: Autores del Proyecto.

11. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES DE LAS DIFERENTES METODOLOGIAS INVESTIGADAS PARA EL CONTROL Y MITIGACION DE EROSION EN EL TALUD DE ESTUDIO

- La instalación de mantos de revegetación en taludes con pendientes altas se recomienda para un mejor funcionamiento, se puede ayudar con la siembra de cualquiera especie de pasto teniendo en cuenta las propiedades de la planta y del suelo que predomine en el lugar de aplicación.
- Los costos de la combinación mantos de revegetación y la planta vetiver a pesar de ser dos metodologías diferentes, son menores que las medidas tradicionales que aportan mayor control a la erosión.
- En los últimos años se han desarrollado técnicas como la bioingeniería para ayudar con los problemas de erosión, los resultados de la aplicación de estas técnicas revelan que la probabilidad del éxito a la hora de mitigar y reducir la erosión es alta.
- Dentro de las técnicas de Bioingeniería el uso de plantas desarrolla un papel importante, gracias al estudio de las propiedades y uso de las diferentes plantas el Pasto Vetiver (Vetiveria Zizanioides) es tal vez una de las variedades de mayor utilización en el mundo para el objeto específico de la estabilización y protección contra la erosión en taludes.
- Manejo de limpieza y mantenimiento de la zanja de coronación, se recomienda que al menos cada dos años se deben reparar, para impermeabilizar las fisuras y grietas que se presenten.
- La Geomalla como su nombre lo indica es una malla que sirve para el recubrimiento de las zonas afectadas y ayuda a dar estabilidad al talud, no se recomienda para el uso en el talud debido a sus orificios de gran tamaño ya que no cumple con la cobertura total del terreno y la presencia de fuertes lluvias, la infiltración que se presenta en el terreno puede generar la salida de material ocasionando inconvenientes considerables sobre el talud.
- En el mercado se presentan infinidad de opciones que ayudan a reducir la erosión de taludes y laderas, teniendo un pensamiento amigable con el ambiente la hidrosiembra es una metodología excelente que de una u otra forma ayuda a contribuir con el cuidado del mismo, brinda una mejor apariencia visual de los taludes y tiene una gran capacidad de revegetación por su procedimiento hecho que ayudan a mitigar y eliminar la erosión presente en los taludes, pero el costo de este procedimiento es alto comparado con otras técnicas, para el caso de este estudio en el que se busca dar una solución que sea económico rentable para el dueño del predio se consideró la no aplicación por lo que es preferible la instalación de mantos de revegetación.
- El geotextil anclado es excelente para la mitigación de la erosión en un talud de pendiente alta, ya que con sus anclajes permiten que el geotextil proteja de cerca el terreno que compone el talud, sin permitir mayor ingreso de

partículas que lo puedan seguir afectando. Esta metodología comparada con los mantos revegetación es más costosa, al momento de seleccionar se prefiere el uso de otro proceso que también sea amigable con el medio ambiente.

- Teniendo en cuenta la alta pendiente del talud de estudio y las obras que se desean realizar, se deben ejecutar con personal competente y capacitado en alturas.

12. PROPUESTA PARA LA MITIGACION DE LA EROSION EN EL TALUD DE ESTUDIO

Para lograr esta propuesta se realizaron diferentes investigaciones y cotizaciones de las diferentes metodologías que se aplican a la solución de la erosión en taludes y laderas, las metodologías más recomendadas para el control de erosión y por tener unos bajos costos comparados con otras alternativas son (Zanjas de Coronación, Geotextiles, Geomallas, Hidrosiembra, Mantos Revegetación y Pasto Vetiver).

Se estableció que los suelos presentes en el talud tienen una permeabilidad alta, hecho que influye de manera significativa dentro de la estabilidad del talud ya que la modelación determinó que es potencialmente inestable y se hace necesaria la rápida intervención del mismo.

Después del análisis al talud de estudio, se realizó una propuesta compuesta por la implementación de tres de las metodologías recopiladas en el proyecto y que fueron escogidas por su viabilidad técnica y económica, para el control y mitigación de la erosión en el talud de estudio.

Se recomienda la construcción de:

- Zanjas de Coronación.
- Instalación de Mantos de Revegetación
- Siembra del Pasto Vetiver.

Se debe realizar la construcción de una zanja de coronación en la parte superior (Corona) del talud, la cual conducirá y llevará el manejo de las aguas superficiales que llegan hasta este punto, el control de aguas es esencial debido a que es el componente que tiene mayor incidencia en la erosión por su fácil infiltración.

12.1. COTIZACION FINAL ZANJA DE CORONACION PARA EL MANEJO DE AGUAS SUPERFICIALES EN EL TALUD DE ESTUDIO.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS ZANJA DE CORONACION PARA CONTROL DE AGUAS SUPERFICIALES (ml)					
EQUIPO	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	CANTIDAD	RENDIMIENTO	TOTAL \$
Herramientas varias	Und	\$5,000	1	1	\$5,000
					\$5,000
MATERIALES	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	CANTIDAD	DESPERDICIO	TOTAL \$
Plastilona-HR900	MI	\$24,000	1,00	1.05	\$25,200
					\$25,200
MANO DE OBRA	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	PRESTACIONES	RENDIMIENTO	TOTAL \$
Instalación 1 Oficial + 3 Ayudante	Jornal	\$105,000	126,000	75	\$3,080
					\$3,080
Total Costos directos por ml de Zanja de Coronación para el control y manejo de aguas superficiales (\$)					\$33,280

Fuente: Autores del Proyecto.

El segundo paso se realiza por medio de la instalación de mantos de revegetación combinado con la siembra de la planta vetiver, especie que crecerá sobre el manto generando la revegetalización en el talud de estudio, Ya que el Vetiver tiene la particularidad de proteger la superficie de las pendientes, así como su estabilidad, incrementando la resistencia a la ruptura. Sin embargo, en su etapa inicial y durante el periodo de establecimiento del pasto Vetiver presenta un riesgo de fracaso debido a la escorrentía y la inestabilidad del talud. Esta combinación no representa un incremento significativo en los costos, el manto brinda seguridad al vetiver mientras se establece. Es por ello que se recomienda combinar el vetiver con mantos de revegetación para el control de erosión y estabilización del talud.

A continuación se presentarán las cotizaciones por ml de la zanja de coronación y por m² de la instalación de mantos combinado con la siembra de pasto vetiver.

12.2. COTIZACION FINAL MANTO PARA EL CONTROL DE EROSION CON REVEGETACION DE ESPECIE PLANTA VETIVER

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE MANTOS DE REVEGETACIÓN CON SIEMBRA DE PASTO VETIVER PARA CONTROL DE EROSIÓN (m²)					
EQUIPO	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	CANTIDAD	RENDIMIENTO	TOTAL \$
Herramientas varias	Und	\$700	1	1	\$700
					\$700
MATERIALES	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	CANTIDAD	DESPERDICIO	TOTAL \$
Mantos Control de erosión (TRM500)	Und	\$7,946	1,00	1.05	\$8,343
Grapas	m³	\$400	3,00	1.05	\$1,260
Gallinaza	Kg	\$1,000	0,50	1.05	\$525
Semillas	Kg	\$20,00	0,03	1.05	\$840
Esquejes de Vetiver	Und	\$210	12,00	1.05	\$2,646
					\$13,614
MANO DE OBRA	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	PRESTACIONES	RENDIMIENTO	TOTAL \$
Instalación 1 Oficial + 3 Ayudantes.	Jornal	\$105.000	126.000	70	\$3,300
					\$3,300
Total Costos directos por m² de los Taludes protegidos y revegetados con Hidrosiembra (\$)					\$17,614

Fuente: Autores del Proyecto.

12.3. COSTOS FINALES PROPUESTA PARA LA MITIGACION DE LA EROSION EN EL TALUD DE ESTUDIO

El talud cuenta con un área total de 430m², en los cuales se realizará la intervención para mitigar la erosión. La construcción de la zanja de coronación tendrá una longitud de aproximadamente 46 ml.

ACTIVIDAD 1. Excavación zanja de coronación, aplicación de mortero en la zanja con el uso de plastilona. Área de Intervención 46 ml. \$ 1,530,880

ACTIVIDAD 2. Suministro, instalación y siembra de: Manto TRM500, Grapas para el anclaje tipo "J" en varilla metálica entre 6mm y 10mm de diámetro, esquejes de la especie planta vetiver, tierra negra y gallinaza. Área de intervención 430 m2. \$7,574,149

COSTOS DIRECTOS TOTALES **\$9,105,029**

Se realizó un diseño preliminar de las zanjas de coronación (Imagen 31) con el fin de dar una idea de la ubicación de las obras de captación de aguas, en la Imagen 32 se observa un talud al cual se le realizó el procedimiento que se propone desarrollar para el talud de estudio y se espera que así luzca con el paso del tiempo.

Imagen 31: Diseño Preliminar de las Zanjas de Coronacion.



Fuente: Autores del Proyecto.

Imagen 32: Diseño Preliminar del talud con Manto de Revegetacion y Vetiver.



Fuente: Vetiver Network International (2017) Disponible en <
http://www.vetiver.org/LAICV2F/1%20Bioengineering/B3Castro_TS.pdf > [acceso el
5 de Junio del 2017]

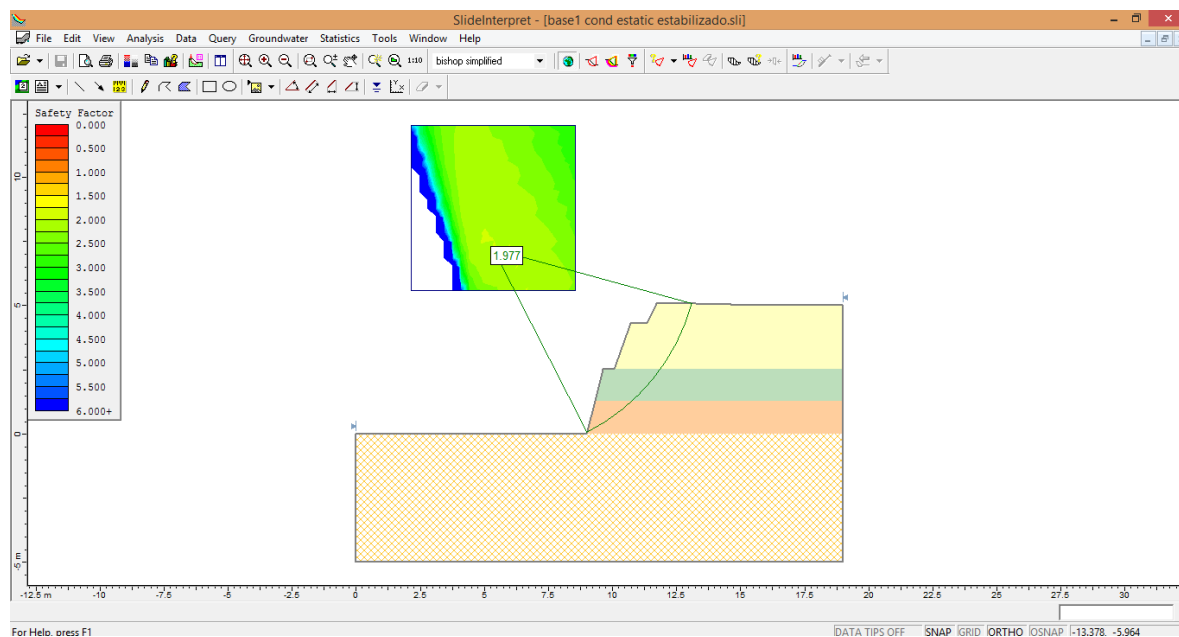
12.4. MODELACIÓN DEL TALUD CON OBRAS DE MITIGACION

La modelación se hace con el fin de conocer las condiciones de estabilidad del talud posterior a las propuestas de metodología para intervenir el talud.

En las figuras a continuación se presentan los pantallazos obtenidos de la modelación que se realiza empleando el software, delimitación de las zonas de trabajo, parámetros, método de análisis e información usada en el ítem 7 de este trabajo.

En la Figura 44 se observar la modelación de la Zona 1 en condiciones estables sin presencia de agua y sismos, con un Factor de Seguridad de 1.997

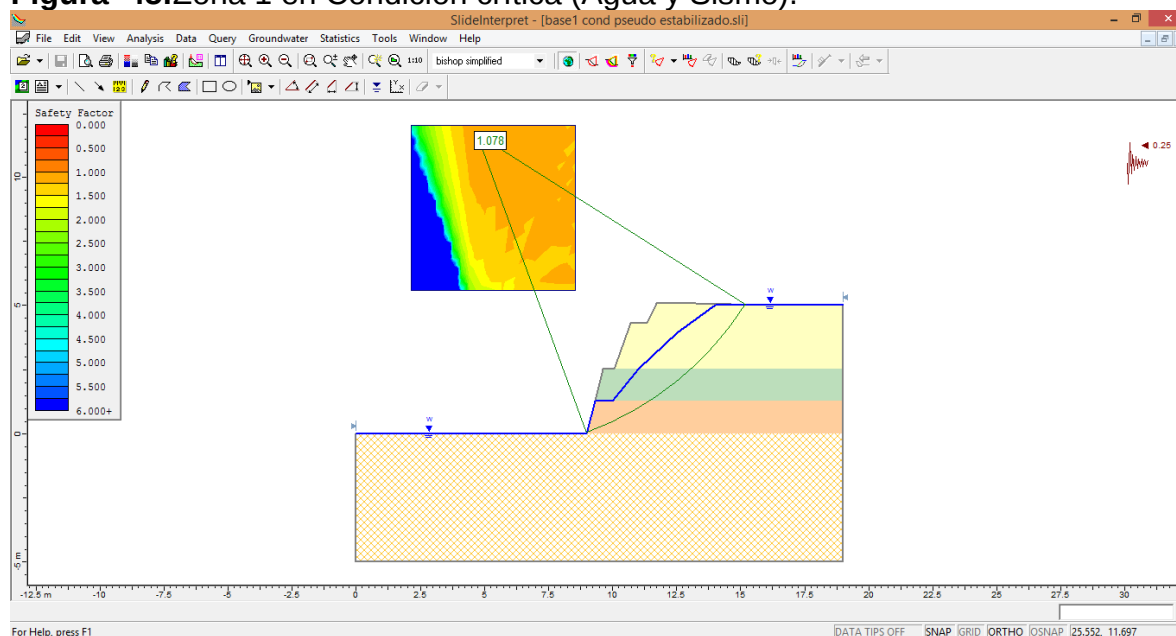
Figura 44: Zona 1 en Condiciones Estables.



Fuente: Software.

En la Figura 45 se observar la modelación de la Zona 1 en condiciones críticas con presencia de Agua y Sismo, con un Factor de Seguridad mínimo de 1.078

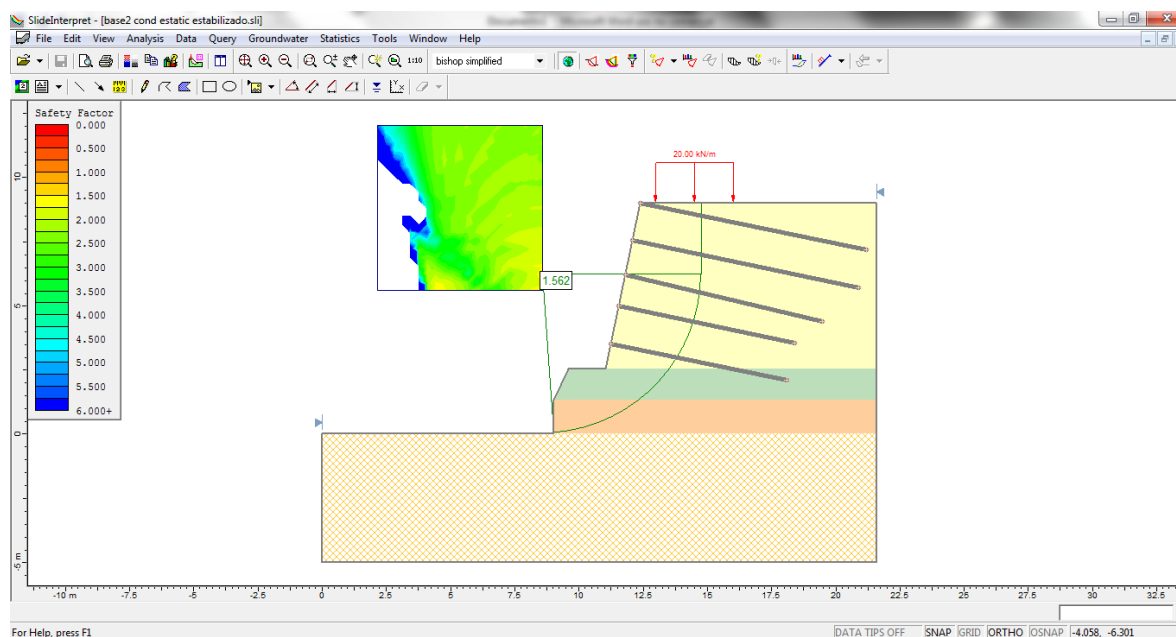
Figura 45: Zona 1 en Condición crítica (Agua y Sismo).



Fuente: Software.

En la Figura 46 se observar la modelación de la Zona 2 en condiciones estables sin presencia de agua y sismos, con un Factor de Seguridad de 1.562

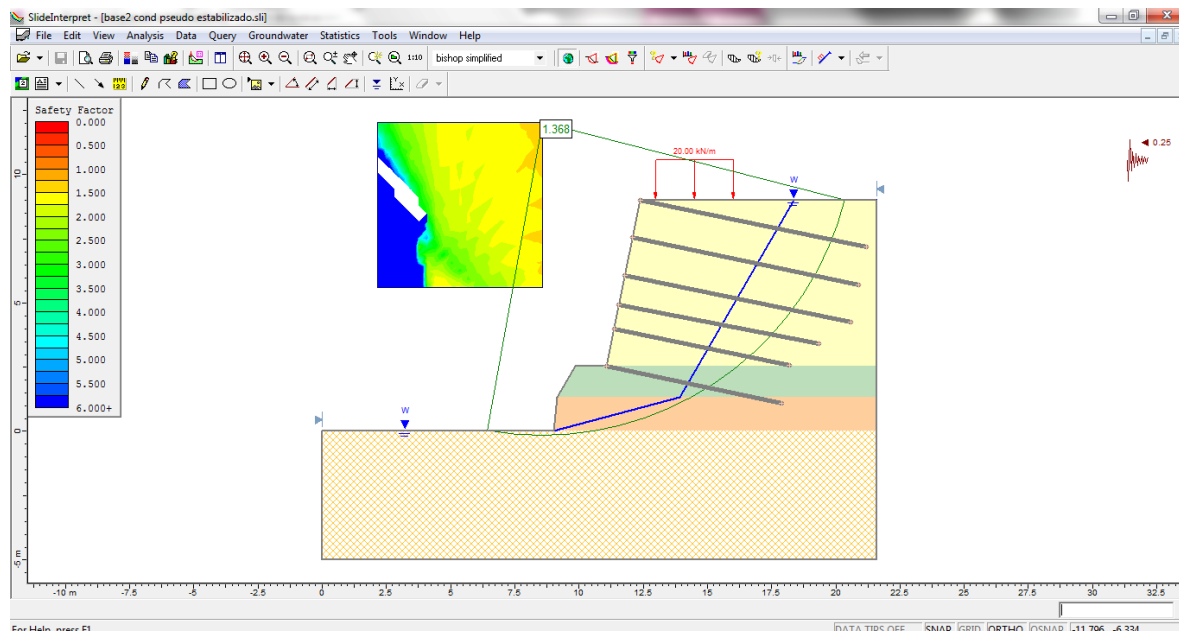
Figura 46: Zona 2 en Condiciones Estables.



Fuente: Software.

En la Figura 47 se observar la modelación de la Zona 1 en condiciones críticas con presencia de Agua y Sismo, con un Factor de Seguridad mínimo de 1.368

Figura 47: Zona 2 en Condición crítica (Agua y Sismo).



Fuente: Software.

La modelación se realizó con el objetivo de verificar si al poner en práctica la propuesta dada en este documento el talud realmente sería estable, para que los factores de seguridad en condiciones estables y críticas sean mayores al mínimo sugerido por la norma se estableció que se deben realizar las siguientes actividades en las zonas del talud:

ZONA 1

- ✓ corte de terreno

ZONA 2

- ✓ corte de terreno
- ✓ Uso de Pernos Pasivos (Soil Nail) de 9,8,7 metros con una separación de 1.5 metros, varilla corrugada de 5/8" inyectados con lechada relación agua- cemento de 1:1

A continuación se presenta el APU correspondiente a los pernos propuestos necesarios para lograr la estabilidad del talud de la zona 2.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE PERFORACION E INSTALACION DE PERNOS (m)					
EQUIPO	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	CANTIDAD	RENDIMIENTO	TOTAL \$
Herramienta menor					\$ 903
Equipo de Perforación		\$ 75,000	1	15	\$ 5,000
Compresor 375-425 SCFM		\$ 50,000	1	15	\$ 3,333
					\$ 9,236
MATERIALES	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	CANTIDAD	DESPERDICIO	TOTAL \$
Suministro de acero de 5/8" con rosca	Kg	\$ 3,000	-		\$ 0
Suministro e instalación de lechada de cemento	Bulto	\$ 23,500	1.00		\$ 2,350
					\$ 2,350
MANO DE OBRA	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	PRESTACIONES	RENDIMIENTO	TOTAL \$
Instalación 1 Oficial + 3 Ayudantes	Jornal	\$ 90,000	54,000	15	\$ 9,600
					\$ 9,600
Total Costos directos por m de perforación e instalación de pernos (\$)					\$ 21,186

Fuente: Autores del Proyecto.

13. CONCLUSIONES

- Es de vital importancia hacer un estudio de las propiedades y características de los suelos que componen un talud, para tener una idea clara y precisa de cuál de las metodologías que brindan los mercados en la actualidad es la mejor para controlar el problema de erosión que presenta el talud.
- Conocer las diferentes metodologías aplicables para la mitigación de la erosión en taludes y laderas es de gran importancia para el manejo de los problemas que se pueden presentar en cualquier obra, y es requerimiento del ingeniero encargado darles solución a estos problemas teniendo un concepto claro sobre cada una de las metodologías.
- Las muestras tomadas en campo de los estratos de suelo son de gran importancia para la realización de los ensayos (granulometría, límites, corte directo y permeabilidad) teniendo como resultados la clasificación del suelo y los parámetros geotécnicos para poder utilizar el software de análisis de Estabilidad de Taludes en 2D el cual requiere de parámetros tales como; peso específico, cohesión, ángulo de fricción y la clasificación del tipo de suelo.
- El análisis de estabilidad efectuado en el Software de análisis de Estabilidad de Taludes en 2D es muy importante para tener una visión de lo que está sucediendo en el talud. Esta modelación nos deja ver que tan inestable puede llegar a estar el talud cuando se presentan adversidades como sismos y lluvias.
- Los costos de las metodologías estudiadas para la mitigación de la erosión en el talud de estudio fueron de gran importancia para llegar a tener una idea del manejo económico y la disminución del impacto ambiental. A pesar que algunas metodologías son más económicas que otras y teniendo en cuenta la geometría del talud, se realizó una propuesta aplicando varias metodologías que ayudan a la mitigación de la erosión que presenta el talud de estudio.
- Se concluye que; para taludes en los cuales predominen suelos que clasifican como Arenas Arcillosas (SC) y acorde a la topografía del talud, el método más recomendable es el de emplear Mantos de Revegetación con Planta vetiver donde el costo a implementar sería de \$9,105,029(Nueve millones ciento cinco mil veintinueve pesos)
- Es de vital importancia realizar la modelación posterior a la propuesta final empleando el software para obtener una visión de la condición del talud antes y después de una futura intervención y lograr establecer la estabilidad de este.

14. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Suarez, Control de erosión en Zonas Tropicales, Bucaramanga : UIS, 2001.
- [2] «GeoFun,» [En línea]. Available: <http://www.geofun.cl/noticias/importancia-taludes> . [Último acceso: 26 Marzo 2017].
- [3] J. Suarez, Deslizamientos Tomo I: Analisis Geotécnico, Bucaramanga : UIS, 2009.
- [4] «Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales(IDEAM),» 2015. [En línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co>. [Último acceso: 2017 Febrero 12].
- [5] «Sistema de Informacion Ambiental de Colombia (Siac),» 2016. [En línea]. Available: <http://www.siac.gov.co/erosionSuelo.html>. [Último acceso: 13 Febrero 2017].
- [6] J. F. Mercha Mejia y C. A. Galvis Rueda, Evaluación del comportamiento de suelos al estabilizarlos con cemento, Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana, 2015.
- [7] «rocscience,» <https://www.rocscience.com/>, 2017. [En línea]. Available: <https://www.rocscience.com/>. [Último acceso: 30 Mayo 2017].
- [8] «Geoproductos.net,» 2017. [En línea]. Available: <http://geoproductos.net/geoweb/definiciones.html>. [Último acceso: 23 Mayo 2017].
- [9] «Geotextiles Construpedia, Enciclopedia Construcción,» [En línea]. Available: <http://www.construmatica.com/construpedia/Geotextiles>. [Último acceso: 23 Mayo 2017].
- [10] PAVCO, Manual de Diseño con Geosinteticos, Bogota: Zetta Comunicadores S.A., 2009.
- [11] «Vetiver SystemsNZ,» GreenWebltd, 2015. [En línea]. Available: <http://www.vetiversystems.co.nz/erosion-control/>. [Último acceso: 2017 Mayo 27].
- [12] «MANUAL SOBRE EL USO Y MANEJO DEL PASTO VETIVER,» 2007. [En línea]. Available: http://www.vetiver.org/TVN_manualvetiver_spanish-o.pdf. [Último acceso: 27 Mayo 2017].

- [13] «Erosion control - Vetiver Systems,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.vetiversystems.co.nz/erosion-control/>. [Último acceso: 23 Mayo 2017].
- [14] «VETIVER La barrera contra la erosión.,» 2013. [En línea]. Available: http://www.vetiver.org/PUBLICATIONS/TVN_GreenSpan.pdf. [Último acceso: 23 Mayo 2017].
- [15] «Hidrosiembra,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.colgrass.com.co/productos/hidrosiembra/hidrosiembra/7/36>. [Último acceso: 31 Mayo 2017].
- [16] «Erosion.com.co,» Geotecnología S.A.S., 2013. [En línea]. Available: <http://www.erosion.com.co/geotecnia-vial/85-via-bucaramanga-cucuta.html>. [Último acceso: 1 Junio 2017].
- [17] I. M. d. C. y. d. C. A.C., «Introducción al concreto lanzado,» *CONSTRUCCION Y TECNOLOGIA EN CONCRETO* , vol. 7, nº 1, pp. 34-38, 2017.
- [18] «ARGOS,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.argos.co/Media/Colombia/images/concreto+lanzado-1.pdf>. [Último acceso: 2 Junio 2017].
- [19] Manual de Drenaje para Carreteras, Bogota : Ministerio de Transporte , 2009.
- [20] D. G. F. T. Zusammenarbeit, «Cartilla de Capacitacion 5: Para prevenir y mitigar los Riesgos de Erosion de suelos.,» de *Proyecto de Gestion de Riesgo y Seguridad*, La Paz, 2010.
- [21] «Construvicol S.A,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.construvicol.com/>. [Último acceso: 30 Mayo 2017].
- [22] «Geomatrix,» 2017. [En línea]. Available: www.geomatrix.com.co. [Último acceso: 25 Mayo 2017].
- [23] «Colgrass S.A.S,» 2016. [En línea]. Available: www.colgrass.com.co. [Último acceso: 26 Mayo 2017].
- [24] M. P. Julio Alegre Orihuela Ing. Agrónomo, Manual sobre el manejo del pasto vetiver, Lima: Organizacion Panamericana de la salud , 2007.