# DISEÑO DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN DEL TALUD SOBRE LA KRA 38



**KRA 38 – BARRANQUILLA, ATLÁNTICO**

**INFORME FINAL**

**BARRANQUILLA, JULIO 2011**

C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

# TABLA DE CONTENIDO


INDICE DE FIGURAS ..... 4

ÍNDICE DE TABLAS ..... 8

1. GENERALIDADES ..... 10

1.1. INTRODUCCIÓN ..... 10

1.2. ANTECEDENTES ..... 11

1.3. OBJETIVOS ..... 15

1.3.1. Objetivo General ..... 15

1.3.2. Objetivos Específicos ..... 15

1.4. ALCANCE ..... 15

1.5. LOCALIZACIÓN ..... 15

2. GEOMORFOLOGIA Y GEOLOGIA ..... 17

2.1. LITOLOGÍA ..... 17

2.1.1. Formación Perdices ..... 17

2.1.2. Formación La Popa ..... 18

2.2. GEOLOGIA ESTRUCTURAL ..... 19

2.2.1. Lineamientos ..... 19

2.2.2. Diaclasamientos ..... 20

2.3. GEOLOGIA LOCAL ..... 21

2.3.1. Formación La Popa Conjunto Superior (Rdca) ..... 22

2.3.2. Arcillolitas Calcáreas (Margas) (Formación La Popa Conjunto Inferior) (Rbam) 23

2.3.3. Arcillolitas Laminadas (Formación Las Perdices) (Rbal) ..... 23

2.4. MOVIMIENTOS EN MASA ..... 24

3. ANÁLISIS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO ..... 27

3.1. EL CLIMA DE ATLÁNTICO ..... 27

3.2. EL CLIMA DE BARRANQUILLA ..... 28

3.2.1. Parámetros del Clima de Barranquilla ..... 29

3.3. EL SISTEMA HIDROLÓGICO DE BARRANQUILLA ..... 33

3.4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO ..... 35
3.5. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS ..... 39
3.5.1. Investigación de Campo ..... 39
3.5.2. Inventario Información Hidrológica ..... 39
3.5.3. Comportamiento de la Precipitación ..... 40
3.5.4. Curvas IDF ..... 45
3.6. ESCORRENTÍA SUPERFICIAL ..... 50
3.6.1. Manejo de Aguas Superficiales ..... 55
4. EXPLORACIÓN Y ENSAYOS ..... 61
4.1. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO ..... 61
4.2. ENSAYOS DE LABORATORIO ..... 67
4.2.1. Ensayos de Clasificación ..... 67
4.2.2. Ensayos de Resistencia ..... 70
5. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ..... 74
5.1. DISTRIBUCIÓN DE LOS MATERIALES EN PROFUNDIDAD ..... 75
5.1.1. Suelo arcilloso ..... 75
5.1.2. Arcillolita fracturada ..... 75
5.1.3. Arcillolita inalterada ..... 75
5.2. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EMPLEADOS EN LA MODELACIÓN ..... 78
5.3. ANÁLISIS PARA CONDICIÓN ACTUAL SIN OBRAS DE MITIGACIÓN ..... 78
5.4. ANÁLISIS PARA CONDICIÓN CON OBRAS DE MITIGACIÓN ..... 79
6. DISEÑO DE OBRAS CORRECTIVAS ..... 84
6.1. MEDIDAS CORRECTIVAS ..... 84
6.1.1 Movimientos de Tierra ..... 84
6.1.2 Rellenos con Material seleccionado ..... 84
6.2. ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN ..... 85
6.2.1 Muro en Cantilever ..... 85
6.2.2 Pilotes ..... 90
6.2.3. Anclajes ..... 100
6.2.4. Muro en Gaviones ..... 103



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

6.3. OBRAS PARA EL MANEJO DE AGUAS SUPERFICIALES ..... 106
6.3.1. Canales y Cunetas ..... 110
6.3.2. Box Culvert ..... 122
6.4. OBRAS PARA EL MANEJO DE AGUAS SUBTERRANEAS ..... 124
6.4.1. Drenes Horizontales ..... 124
6.4.2. Filtros Francés ..... 124
6.4.3. Pozos de Drenaje ..... 126
6.5. OBRAS PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN ..... 128
6.5.1 El Concepto de Bioingeniería ..... 128
6.5.2 La Vegetación como Elemento Estabilizador ..... 128
6.5.3 Efectos físicos de la vegetación ..... 128
6.5.4 Zonas de vida ..... 129
6.5.5 Suelos ..... 130
6.5.6 Selección de las Especies Vegetales ..... 130
6.5.7 Estabilización del Sector con tratamientos de Bioingenieria. ..... 132
7. CANTIDADES DE OBRA ..... 134
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 136
9. ANEXOS ..... 141



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

# INDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Ubicación de las corrientes de agua que atravesaban el sector de Campo Alegre en 1955 ..... 12
Figura 1. 2 Geología General Zona de Estudio (INGEOMINAS, 2010). ..... 13
Figura 1. 3 Deslizamiento que afecto a las viviendas de Carson Mirador, Puertas del Caribe y la carrera 38. ..... 14
Figura 1. 4 Panorámica del deslizamiento del sector nor-occidental, con dirección de movimiento predominante E-W. ..... 14
Figura 1. 5 Ubicación aproximada de la zona de estudio ..... 16

Figura 2. 1 Plano Unidades Geológicas Superficiales Carson Mirador – Carrera 38 ..... 21
Figura 2. 2 Afloramientos del Conjunto Superior de la Formación Popa en la Corona del deslizamiento de Carson, la zona se ha reconformado morfológicamente en pequeñas ..... 22
Figura 2. 3 Arcillolitas de la Formación Perdices ..... 24
Figura 2. 4 Panoramica general de la parte alta del movimiento en masa que destruyó un tramode la Carrera 38 y los conjuntos residenciales Carson Mirador y Puertas del Caribe. ..... 25
Figura 2. 5 Corona del deslizamiento donde afloran niveles de calizas arrecifales de la Formación Popa. Las viviendas afectadas fueron demolidas y los materiales distribuidos en dos terrazas. .... 26
Figura 2. 6 Parte media del movimiento donde se ha acumulado parte del material deslizado de la parte alta, alterando la morfología del terreno y destruyendo un tramo de la carrera 38. ..... 26

Figura 3. 1 Atlántico - Clasificación Climática ..... 30
Figura 3. 2 Atlántico – Temperatura Media Anual (°C) ..... 31
Figura 3. 3 Atlántico – Precipitación Total Anual (mm) ..... 32
Figura 3. 4 Atlántico – Número de Días con Lluvia ..... 33
Figura 3. 5 Escarpe del deslizamiento al norte de Carson Mirador ..... 36
Figura 3. 6 Viviendas afectadas por el deslizamiento en la parte superior del mismo ..... 37
Figura 3. 7 Vista de la Carrera 84 B al noroccidente ..... 37
Figura 3. 8 Vista de la Carrera 84 B al sur oriente ..... 37
Figura 3. 9 Vista detalle por la Carrera 84 B al sur oriente y noroccidente ..... 38
Figura 3. 10 Vista escarpe próximo a la corona del deslizamiento por la Calle 83 A hacia el norte y hacia el sur (origen del movimiento en la parte superior del talud) ..... 38
Figura 3. 11 Vista escarpe secundario del deslizamiento por la calle 83 visto hacia el deslizamiento de Carson Mirador y éste último en su condición actual ..... 38
Figura 3. 12 Ubicación de las Estaciones ..... 39
Figura 3. 13 Hietograma Totales Mensuales Estación Las Flores ..... 41
Figura 3. 14 Hietograma Totales Mensuales Estación Ernesto Cortissoz ..... 41



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

Figura 3. 15 Hietograma Totales Mensuales Estación Puerto Colombia ..... 42
Figura 3. 16 Hietograma Máxima 24h Estación Las Flores..... 43
Figura 3. 17 Hietograma Máxima 24h Estación Ernesto Cortizzos..... 44
Figura 3. 18 Hietograma Máxima 24h Estación Puerto Colombia ..... 44
Figura 3. 19 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia obtenidas del estudio Transmetro, Estación Las Flores..... 46
Figura 3. 20 Intensidad-Duración-Frecuencia obtenidas por el Método de Bell, Estación Las Flores ..... 47
Figura 3. 21 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia obtenidas del estudio Transmetro, Estación Ernesto Cotrissoz..... 48
Figura 3. 22 Intensidad-Duración-Frecuencia obtenidas por el Método de Bell, Estación Ernesto Cortizzos..... 49
Figura 3. 23 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia obtenidas por el Método de Bell, Estación Puerto Colombia ..... 50
Figura 3. 24 Mapa a escala 1:100000 IGAC zona de estudio, cuenca Arroyo Hondo ..... 51
Figura 3. 25 División del área en subcuencas..... 56
Figura 3. 26 Entrega de aguas recogidas al tributario..... 57

Figura 4. 1. Localización Sondeos..... 63
Figura 4. 2. Perfil Estratigrafico PC – 1, Proyecto Carrera 38..... 64
Figura 4. 3. Perfil Estratigrafico CA-01, Proyecto Toboganes..... 65
Figura 4. 4. Perfil Estratigrafico P10 (D001-P10), Proyecto Delta ..... 66
Figura 4. 5. Carta de Plasticidad..... 68
Figura 4. 6 Envolvente de esfuerzos ensayo de corte PC-03, M8, Prof 10.50-12.00 m ..... 71
Figura 4. 7 Desplazamiento horizontal a diferentes esfuerzos cortantes (condición pico)..... 71
Figura 4. 8 Desplazamiento horizontal a diferentes esfuerzos cortantes (condición residual)..... 71
Figura 4. 9 Deformación vertical vs Desplazamiento horizontal (condicón pico)..... 71
Figura 4. 10 Deformación vertical vs Desplazamiento horizontal (condición pico)..... 71
Figura 4. 11. Esfuerzo normal vs Deformación Axial (%). PC – 01 M6 Prof 7.50 – 9.00 m..... 72
Figura 4. 12 Exceso pepresión de poros Vs Deformación Axial (%).PC – 01 M6 Prof 7.50 – 9.00 m. ..... 72
Figura 4. 13 q (σ1-σ3) Vs P (σ1+2σ3)/3. PC – 01 M6 Prof 7.50 – 9.00 m ..... 72
Figura 4. 14 t(σ1-σ3)/2 Vs s' (s1+s3)/2. PC – 01 M6 Prof 7.50 – 9.00 m..... 73

Figura 5. 1 Secciones definidas en para estudio en el Sector 1 Km 32 + 000 ..... 74
Figura 5. 2. Perfil geológico – geotécnico Sección 1 ..... 76
Figura 5. 3 Perfil geológico - geotécnico sección 2 ..... 76
Figura 5. 4 Perfil geológico - geotécnico sección 3 ..... 76
Figura 5. 5 Perfil geológico - geotécnico sección 4 ..... 76



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

Figura 5. 6 Perfil geológico - geotécnico sección 5 ..... 77
Figura 5. 7 Perfil geológico - geotécnico sección 6 ..... 77
Figura 5. 8 Perfil geológico - geotécnico sección 7 ..... 77
Figura 5. 9 Perfil geológico - geotécnico sección 8 ..... 77
Figura 5. 10 Análisis de estabilidad condición actual, Sección 1. ..... 79
Figura 5. 11 Análisis de estabilidad condición actual, Sección 5. ..... 79
Figura 5. 12. Análisis de Estabilidad condición con obras Sección 1 (Análisis Falla Traslacional) ..... 81
Figura 5. 13. Análisis de Estabilidad condición con obras Sección 1 (Análisis Falla Rotacional) ..... 82
Figura 5. 14. Análisis de Estabilidad condición con Obras Sección 6. (Análisis Falla Traslacional) ... 82
Figura 5. 15. Análisis de Estabilidad condición con Obras Sección 6. (Análisis Falla Rotacional) ..... 82

Figura 6. 1. Muro en voladizo Típico ..... 86
Figura 6. 2. Resultados de análisis de estabilidad para el Muro en Cantilever ..... 89
Figura 6. 3. Localización Hileras de Pilotes ..... 90
Figura 6. 4. Cargas Laterales Pilotes Muro Superior ..... 91
Figura 6. 5. Modulos de Balasto Pilotes Muro Superior ..... 91
Figura 6. 6. Esquema de Análisis de Pilotes del Muro Superior ..... 92
Figura 6. 7. Análisis por carga vertical Pilotes Muro Superior ..... 93
Figura 6. 8. Análisis por carga lateral Pilotes Muro Superior ..... 94
Figura 6. 9. Análisis por carga lateral Pilotes Primera Hilera ..... 95
Figura 6. 10. Cargas laterales Pilotes Via ..... 97
Figura 6. 11. Modulos de Balasto Pilotes via ..... 97
Figura 6. 12. Esquema de Análisis de Pilotes Via ..... 98
Figura 6. 13. Análisis por carga vertical Pilotes Via ..... 99
Figura 6. 14. Análisis por carga lateral Pilotes Via ..... 100
Figura 6. 15. Detalle componentes de Anclaje ..... 101
Figura 6. 16. Diseño Anclaje Muro Superior ..... 102
Figura 6. 17. Diseño Anclaje Hileras de Pilotes ..... 103
Figura 6. 18. Detalle Muro en Gaviones ..... 104
Figura 6. 19. Detalle Perfil Muro en Gaviones ..... 104
Figura 6. 20. Esquema de Análisis de Pilotes Suelo cemento ..... 105
Figura 6. 21. Esquema de Análisis de Pilotes Suelo cemento ..... 106
Figura 6. 22. Obras hidráulicas propuestas para el Sector Carrera 38 ..... 107
Figura 6. 23. Cuencas drenantes hacia canales y cunetas propuestas ..... 108
Figura 6. 24. Detalle Típico de Canal Trapezoidal ..... 115
Figura 6. 25. Detalle Típico de Canal Rectangular ..... 115
Figura 6. 26. Detalle Típico de Cuneta Triangular ..... 116
Figura 6. 27. Detalle Típico Canales escalonados ..... 116
Figura 6. 28. Detalle Canal en Gaviones ..... 117



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

Figura 6. 29. Esquema de Análisis de Pilotes del Canal de Gaviones ..... 118
Figura 6. 30. Cargas Laterales Pilotes del Canal de Gaviones ..... 119
Figura 6. 31. Modulos de Balasto Pilotes del Canal de Gaviones ..... 119
Figura 6. 32. Análisis por carga vertical Pilotes del Canal de Gaviones ..... 120
Figura 6. 33. Análisis por carga lateral Pilotes del Canal de Gaviones ..... 121
Figura 6. 34. Localización Box Culvert 1 ..... 122
Figura 6. 35. Localización Box Culvert 2 ..... 122
Figura 6. 36. Diseño Box Culvert Carrera 38 ..... 123
Figura 6. 37. Diseño Box Culvert Carrera 38 ..... 123
Figura 6. 38. Detalle Drenes Horizontales ..... 124
Figura 6. 39. Detalle Filtro Frances ..... 125
Figura 6. 40. Espina de Pescado ..... 126
Figura 6. 41. Detalle Típico Pozos drenantes ..... 127
Figura 6. 42. Localización Pozos drenantes ..... 127



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1 Coordenadas de estaciones meteorológicas ..... 39
Tabla 3. 2 Valores de precipitación total mensual ..... 40
Tabla 3. 3 Valores de Precipitación Máxima Mensual ..... 43
Tabla 3. 4 Intensidades máximas 10-180 min, Estación Las Flores ..... 47
Tabla 3. 5 Intensidades máximas 10-180 min, Estación Ernesto Cortissoz ..... 47
Tabla 3. 6 Intensidades máximas 10-180 min, Estación Ernesto Cortissoz ..... 49
Tabla 3. 7 Coeficientes de escorrentía ..... 53
Tabla 3. 8 Tiempo de concentración Área de drenaje hacia la ladera ..... 54
Tabla 3. 9 Intensidades máximas de precipitación ..... 54
Tabla 3. 10 Áreas de subcuencas vertientes ..... 56
Tabla 3. 11 Caudal máximo recogido para la subcuenca 1 ..... 57
Tabla 3. 12 Caudal máximo recogido para la subcuenca 2 ..... 57
Tabla 3. 13 Caudal máximo recogido para la subcuenca 3 ..... 57
Tabla 3. 14 Caudal máximo recogido para la subcuenca 4 ..... 58
Tabla 3. 15 Caudal máximo recogido para la subcuenca 5 ..... 58
Tabla 3. 16 Caudal máximo recogido para la subcuenca 6 ..... 58
Tabla 3. 17 Caudal máximo recogido para la subcuenca 7 ..... 58
Tabla 3. 18 Caudal máximo recogido para la subcuenca 8 ..... 58
Tabla 3. 19 Caudal máximo recogido para la subcuenca 9 ..... 58
Tabla 3. 20 Caudal máximo recogido para la subcuenca 10 ..... 59
Tabla 3. 21 Caudal máximo recogido para la subcuenca 11 ..... 59
Tabla 3. 22 Caudal máximo recogido para la subcuenca 12 ..... 59
Tabla 3. 23 Caudal máximo recogido para la subcuenca 13 ..... 59
Tabla 3. 24 Caudal máximo recogido para la subcuenca 14 ..... 59

Tabla 4. 1. Sondeos Realizados en el sector ..... 62
Tabla 4. 2. Humedades Naturales ..... 69
Tabla 4. 3. Resultados Ensayos de Resistencia ..... 70
Tabla 4. 4. Parametros de resistencia seleccionados ..... 73

Tabla 5. 1 Párametros Geomecánicos ..... 78
Tabla 5. 2 Fatores de Sdeguridad ..... 83



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

Tabla 6. 1. Requisitos de los Materiales ..... 85
Tabla 6. 2. Dimensiones y variables de diseño Muro en Cantilever ..... 85
Tabla 6. 3. Hileras de Pilotes ..... 96
Tabla 6. 4. Caracteristicas generales Canales y Cunetas propuestas ..... 109
Tabla 6. 5. Caudales drenantes por Subcuencas Modificadas ..... 109
Tabla 6. 6. Caudales por Canal o Cuneta ..... 111
Tabla 6. 7. Calculos Canales y Cunetas ..... 112
Tabla 6. 8. Secciones definitivas ..... 112

Tabla 7. 1 Cantidades de obra ..... 135



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

# 1. GENERALIDADES

## 1.1. INTRODUCCIÓN

Los movimientos en masa se presentan debido a diferentes condiciones de contorno, de tipo geológico, fisiográfico, geotécnico y climático, que en conjunto pueden o no, brindarle una estabilidad a la masa del suelo presente en la zona de estudio. Por otra parte, los factores conocidos como antrópicos, están directamente relacionados con el uso del suelo y las actividades socioeconómicas que en el tiempo reflejan el efecto causado sobre el territorio y permiten a su vez identificar las amenazas y riesgos.

El desarrollo del estudio inicio con una revisión bibliográfica, con el fin de recopilar la información suficiente para la caracterización de la zona de estudio y conocer la historicidad del movimiento presentado en la zona.

Además del la recopilación bibliográfica, se proecedió a realizar levantamientos topográficos y geológicos de la zona de estudio, con el fin de identificar las características morfológicos y genéticas de los suelos. Dichos levantamientos fueron complementados con fases de exploración del subsuelo, buscando con esto la identificación de los materiales en profundidad; con el fin de adelantar los análisis geotécnicos para caracterizar el movimiento de la zona de estudio, se realizaron ensayos de laboratorio a testigos extraidos de la fase exploratoria, obteniendo una caracterizaón mecánica de los materiales aflorantes.

Adicional a los levantamientos, exploraciones y ensayos de laboratorio, y debido a los factores detonantes de un proceso de remoación en masa, fue necesaria la identificación y caracterización de las condiciones de contorno, por lo tanto fue necesario realizar análisis, Hidrológicos e Hidráulicos, los cuales en combinación con los análisis Geotécnicos y previas evaluaciones, se obtuvieron las variables físicas, geomecánicas, hidrogeológicas, hidrogeomorfológicas, sísmicas, entre otras, las cuales se utilizarón en el desarrollo del modelo geológico – geotécnico elaborado.

Se definieron secciones de control, sobre las cuales fue impuesto el modelo geológico-geotécnico, y piosteriormente, fue realizado el análisis de estabilidad basado en los métodos de Bishop y Spencer, para la condición actual. Dicho análisis debería reflejar adicionalmente, las superficies de falla de los eventos recientes, por tanto, adicionalmente a los análisis de falla rotacional, fueron analizadas superficies de falla no circulaes. A partir de estos resultados, se concluyo la necesidad de implementar medidas de mitigación ante una eventual reactivación del deslizamiento. Posterior a la identificación de las superficies de falla, se propusieron medidas de mitigación, para


C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

brindar estabilidad al sector. Finalmente, se realizo el diseño de las obras más adecuadas, teniendo en cuenta factores técnicos, sociales y económicos.

Las medidas de mitigación propuestas dentro del estudio incluyen la implementación de Muros de contención, Pilotes a diferentes profundidades, Movimientos de Tierra, Terraplén de Tierra, sistemas de drenaje y obras de Bio-Ingenieria, las cuales, cumplen la funció de mejorar el entorno paisajístico y proporcionar protección de la zona contra la erosión eólica o hidráulica, las obras se recubrirán con vegetación nativa de la zona, que actúe como barrera ante el impacto de las gotas de lluvia y que mejoren el entorno del sector.

## 1.2. ANTECEDENTES

Desde hace aproximadamente dos décadas, se tienen registros de los problemas de inestabilidad que se han presentado en la carrera 38. En 1989 tuvo una falla local importante sobre la carrera 38, con inestabilidad general de la banca que obligó su rediseño y reubicación de40m en la parte superior de la ladera, construida con el diseño e interventoría de Tecnisuelos Ltda., que contempló algunas obras de canalización aguas arriba de la vía.

En el año 1995 se presentó un primer evento de inestabilidad que involucró el tramo cercano al primer box-culvert viniendo de la Avenida Circunvalar y motivó la reparación de la banca y el mantenimiento de las obras de mitigación.

Posteriormente en el año 2002, aparentemente, se inició el nuevo proceso de deformación que ha conducido a la constante situación de daño-reparación de la vía, debido al deslizamiento que atraviesa la carrera 38.

Con relación al material aflorante en el sector, el ingeniero Aquiles Arrieta, es consciente del potencial dispersivo que exhibe este suelo: "*Es importante recalcar que, en términos generales, no es aconsejable … utilizar los materiales provenientes de corte en movimientos de tierra para conformar rellenos de nivelación y, menos aún rellenos estructurales*", por lo tanto propone un estricto control del ingreso del agua al lote y una serie de recomendaciones geotécnicas con respecto al objeto del estudio.

En el año 2006 en el conjunto Carson Mirador, se encontraron varios puntos donde el agua subsuperficialbrotó, evidenciando una infiltración subterránea que, debido a la conformación topográfica del sector, se puede atribuir proveniente de los lotes superiores vecinos, cercanos a la carrera 83; por la descripción que realizaron los ingenieros constructores y la cantidad de puntos donde se produjo este evento se puede deducir que el volumen de agua de infiltración era importante.



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

En Mayo del año 2004, la Carrera 38 empezó a mostrar serios problemas de inestabilidad. La falta de mantenimiento de los box culverts, la filtración de las aguas de los barrios adyacentes y la fuerte ola invernal ocasionaron el desplazamiento y finalmente el cierre de la vía.

En la Figura 1. 1 se presentan las antiguas corrientes de agua que atravesaban el sector[1], algunas de las cuales fueron taponadas incrementándose de manera dramática la inestabilidad de la zona.



***Figura 1. 1 Ubicación de las corrientes de agua que atravesaban el sector de Campo Alegre en 1955***

Debido a las fuertes lluvias que se han venido presentando, se generó la reactivación del sector nor-occidenal del deslizamiento inicialmente cartografiado por INGEOMINAS, como se observa en la Figura 1. 2. El movimiento en masa se dividió en dos cuerpos, el principal con dirección SW que afectó la carrera 38 y el conjunto Carsons Mirador y otro de menor magnitud con dirección W que afectó el sector del Tobogán. El tamaño de la masa deslizada es de aproximadamente 750 metros

[1] Fotografía aérea 1953, Vuelo M-16, Fotografía 1388 a escala 1:68000, IGAC



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

de largo, por 250 metros de ancho (INGEOMINAS, 2010); en la Figura 1. 3, por otro lado, se ilustra la condición actual del deslizamiento de la carrera 38, el cual afecto las viviendas de Carsons Mirador y Puertas del Caribe y en su parte inferior puede afectar el barro el Rubi, mientras que la Figura 1. 4, ilustra una panorámica de las zonas nor-occidental y norte del deslizamiento, donde se observan ciertos rastros de movimientos antiguos o recientes, así como los límites de la masa que se encuentra en movimiento.

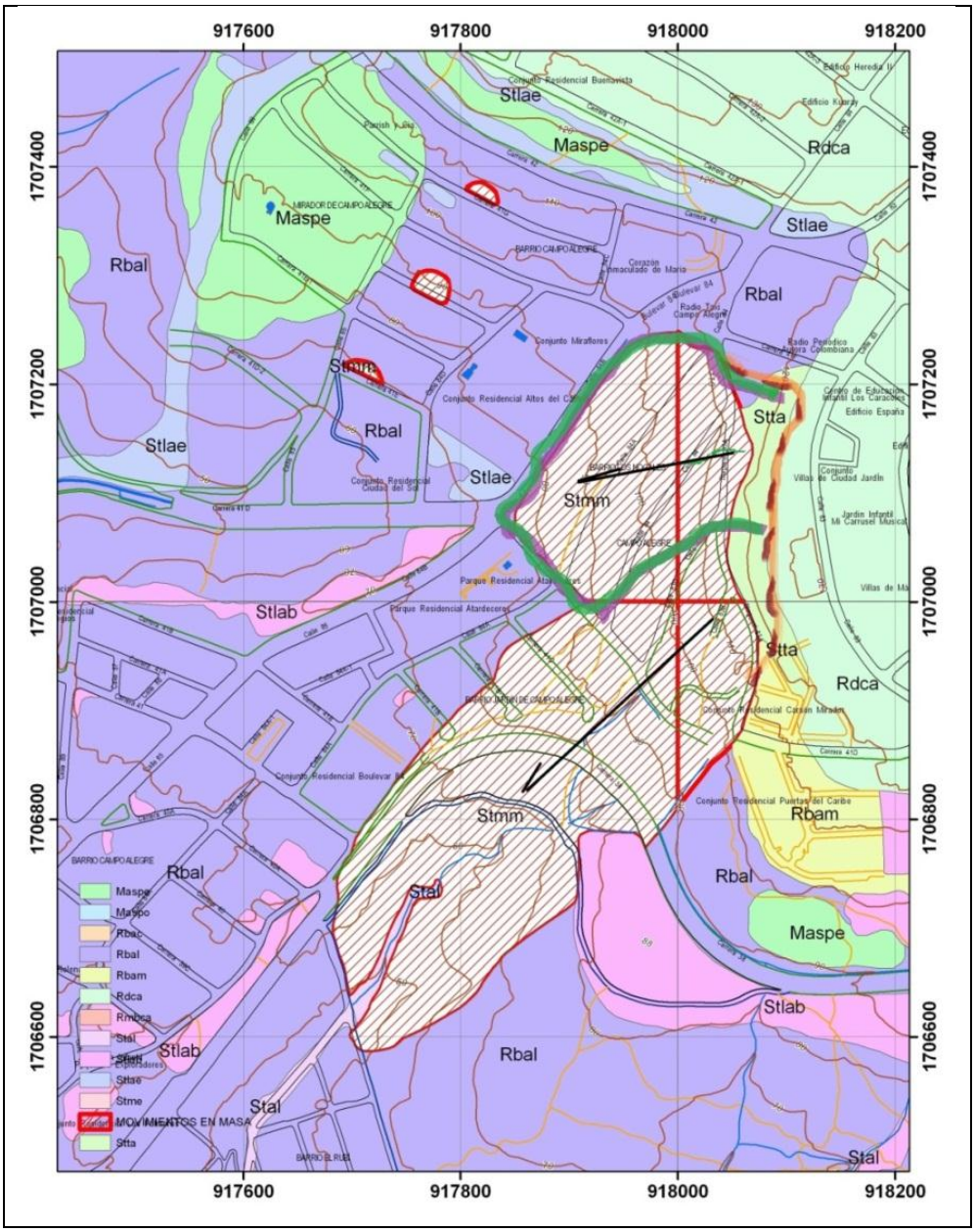



***Figura 1. 2 Geología General Zona de Estudio (INGEOMINAS, 2010).***



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia



*Figura 1. 3 Deslizamiento que afecto a las viviendas de Carson Mirador, Puertas del Caribe y la carrera 38.*



*Figura 1. 4 Panorámica del deslizamiento del sector nor-occidental, con dirección de movimiento predominante E-W.*



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

## 1.3. OBJETIVOS

### 1.3.1. Objetivo General

Realizar la evaluación de estabilidad y diseño de medidas correctivas de los sectores afectados por fenómenos de remosion en masa en el sector de Kra 38 – Barranquilla, departamento del Atlántico.

### 1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización geológica y geomorfológica del Sector de la Kra 38.
- Realizar el estudio y análisis hidrológico e hidráulico con el fin de obtener los parámetros básicos para el pre dimensionamiento de las obras hidráulicas necesarias para un adecuado manejo del agua de escorrentía.
- Realizar la caracterización geomecánica basada en los resultados de ensayos obtenidos de registros existentes y/o exploración del subsuelo desarrolladas para el presente proyecto.
- Desarrollar el modelo geológico-geotécnico para el análisis de la estabilidad del sector, basado en los métodos de Bishop y Spencer. Para tal fin se utilizará el programa SLIDE v5.0.
- Elaborar el diseño de las obras para la mitigación de las diferentes amenazas identificadas, teniendo en cuenta factores técnicos, sociales y económicos

## 1.4. ALCANCE

Determinar una alternativa de estabilización para el talud localizado sobre la via Kra 38, mediante el análisis geotécnico de la situación actual y el comportamiento del sector ante la implementación de dichas obras, con el fin de reducir al minimo las probabilidades de ocurrencia de una fenómeno de remosión en masa en el sector.

## 1.5. LOCALIZACIÓN

La zona de estudio se localiza en el sector noroccidental del distrito de Barranquilla, enmarcado geográficamente por las coordenadas 917650mE – 1706600mN y 918250mE – 1706600mN. Especificamente el sector inestable corresponde a un solo cuerpo del deslizamiento, con una dirección Noreste - Suroeste y cuyas dimensiones son de aproximadamente 586.03 metros de largo por 193.30 metros de ancho (Figura 1. 5).



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia




***Figura 1. 5 Ubicación aproximada de la zona de estudio***[2]

[2] Imagen tomada del Software gratis Google Earth.



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

# 2. GEOMORFOLOGIA Y GEOLOGIA

## 2.1. LITOLOGÍA

El Área Metropolitana de Barranquilla se localiza en el vértice nororiental del departamento del Atlántico, su núcleo principal es el distrito de Barranquilla donde en los últimos años se han presentado varios movimientos en masa que han afectado a las comunidades que habitan las laderas occidentales de la ciudad.

De acuerdo a la memoria explicativa del mapa geológico del departamento del Atlántico, escala 1:100.000 del año 2000 y de la memoria explicativa de las planchas 16 y 17 Galerazamba - Barranquilla, escala 1:100.000 del 2001, publicadas por el INGEOMINAS, la geología regional de la ciudad de Barranquilla esta constiuida por rocas sedimentarias de origen marino, de edad Paleógeno, Neógeno y depósitos cuaternarios litorales y continentales.

Según Molina (1986), el área de Barranquilla se ha comportado como un paleo alto desde el Eoceno inferior (aproximadamente desde hace 55 millones de años), con eventos de sumergimiento asociados a transgresiones marinas durante el Eoceno medio, Oligoceno y Pleistoceno- Holoceno (1 millón de años). Tal dinámica es la responsable de la presencia de materiales arenosos de playa y arcillosos calcáreos intercalados, localmente aún sin litificar, particularmente en los dos últimos millones de años.

De acuerdo a lo mencionado y teniendo en cuenta los resultados de los estudios previos anteriormente, al igual que el mapa geológico presentado por el INGEOMINAS en el año 1997, las rocas que afloran en la las laderas occidentales de Barranquilla, corresponden a rocas sedimentarias de origen marino profundo y transicional continental y pertenecen a la Formaciones Perdices y La Popa. Estas unidades se encuentran cubiertas por depósitos Cuaternarios correspondientes a materiales de origen aluvial, eólico, coluvial y de movimientos en masa.

A continuación se describen de manera general las formaciones Geológicas que afloran en las laderas occidentales, mientras que en el Anexo A1 “Unidades Geológicas Superficiales”, se presenta el plano geológico del sector y tres secciones de control.

### 2.1.1. Formación Perdices

Las Perdices es el nombre dado por Anderson (1929) para designar una secuencia de shales, shales arenosos, capas de chert y algunas areniscas observadas al suroccidente de Barranquilla. Aflora en una extensa área, principalmente hacia la parte media y baja de las



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

laderas occidentales de Barranquilla y por su litología predominantemente arcillosa, desarrolla morfologías suaves, con un relieve bajo a suavemente ondulado.

Desde el punto de vista litológico, está constituida por lodolitas de colores grises y amarillos, que dependen del estado de meteorización. Algunos niveles presentan fisilidad, mientras otros tienen una partición concoidea, con tintes de oxidación de color pardo y cristales de yeso. Esporádicamente están intercaladas con arenitas cuarzosas de grano fino, amarillas, con laminación plana paralela y en capas delgadas levemente onduladas. El espesor de la unidad al occidente de Barranquilla puede sobrepasar los 20 metros de espesor.

Por las características litológicas y texturales con aporte de sedimentos tamaño arcilla y limo, se considera que la Formación Las Perdices se depositó en un ambiente marino con profundidades batiales.

### 2.1.2. Formación La Popa

La primera referencia de la unidad La Popa se encuentra en Anderson (1926) como La Popa Group, pero es Bürgl (1957) quien le da el nombre de Formación La Popa a los estratos que conforman el cerro de La Popa en Cartagena.

Esta Formación reposa discordante sobre las formaciones del Paleógeno y del Neógeno y a su vez está cubierta en forma discordante por los depósitos eólicos y recientes. Por las características sedimentológicas de la Formación La Popa se deduce un ambiente marino somero, con influencia continental (aporte de terrígenos).

La edad de la Formación La Popa ha sido muy discutida; Anderson (1926) la consideró Pliocena; Link (1927) la considera del Pleistoceno inferior; Royo y Gómez (1950) postula que es del Mioceno superior. Con base en las muestras micropaleontológicas recolectadas por geólogos del INGEOMINAS en el Departamento del Atlántico, durante el Proyecto Caribe, se asume que esta formación es del Pleistoceno.

La Formación La Popa forma una serie de colinas abruptas y alargadas, un patrón de drenaje sub paralelo y de acuerdo a secciones medidas por la vía Puerto Colombia – Barranquilla, Barrera (1999), está conformada por dos conjuntos así:

- *Conjunto inferior:* Conformado por 18 m de calizas terrígenas de color gris amarillo, bioturbadas y arenitas calcáreas de grano fino con algunos granos gruesos, deleznables, matriz calcárea y ocasionalmente fragmentos de moluscos. Hacia la parte


C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

superior del intervalo prevalecen las calizas arrecifales terrígenas con abundantes bioclastos de corales, algas y moluscos, en capas gruesas.

- *Conjunto superior:* Está conformado por 112 m de calizas terrígenas arenosas con niveles de hasta 1 m de espesor de calizas arrecifales más competentes con abundancia de bioclastos y arenitas deleznables de grano grueso, calcáreas; intercaladas con niveles competentes discontinuos de calizas terrígenas amarillas y calizas arrecifales bioturbadas.

## 2.2. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

De acuerdo a la información de INGEOMINAS (1997), la disposición geológica del Caribe colombiano es producto de la interacción tectónica de las placas de Nazca, Caribe y Suramérica.

Regionalmente el área de Barranquilla se ubica en el llamado Terreno Sinú - San Jacinto constituido por dos cuñas de materiales sedimentarios (cinturones de San Jacinto y Sinú), caracterizado por presentar pliegues anticlinales estrechos y sinclinales amplios, donde también convergen dos trenes estructurales de dirección N20ºE de edad Eoceno medio y otro de dirección N45ºE de edad Plioceno-Pleistoceno (Duque, 1984).

Según el mapa tectónico del departamento del Atlántico, hacia el sector de Barranquilla no se presentan o destacan fallas o pliegues de importancia regional, sin embargo existen plegamientos suaves y amplios en las rocas del Neógeno y fallas normales, documentadas en la Formación La Popa, en los frentes de explotación de las canteras de cementos Argos. Estas fallas tienen longitudes hasta de 800 metros, de dirección NE y NW, con desplazamientos verticales que alcanzan los 3 metros, generando grabens de poca extensión, originados por relajación de esfuerzos que afectan estratos competentes de calizas que reposan sobre rocas arcillosas de la Formación Las Perdices.

### 2.2.1. Lineamientos

En los estratos arcillosos de la Formación Las Perdices, la naturaleza blanda y plasticidad, hacen que éstas se deformen por gravedad y se caracterizan por presentar una alta fisilidad y fracturamiento que enmascara estos rasgos. Sin embargo es posible destacar algunos lineamientos cuyo trazo y dirección coincide con los cauces de algunos de los arroyos. De acuerdo a los resultados de la Evaluación Geotécnica de las Laderas Occidentales de Barranquilla-Fase I (INGEOMINAS, 1997). Los principales lineamientos tienen dirección NW-SE y son los responsables de silletas, quiebres de pendiente, lomos alineados y salientes del escarpe de la plataforma de abrasión de origen arrecifal



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

- LINEAMIENTO LAS TERRAZAS-EL ROSARIO: Lineamiento paralelo al del Mirador que cruza por la parte baja de los barrios Las Terrazas y Villa del Rosario. Genera algunos cambios en la dirección de corrientes y arroyos en la parte media y baja de las laderas, con presencia de algunos movimientos en masa asociados.

- LINEAMIENTO EL SALADO: Controla parte del Arroyo El Salado, con dirección N70ºE, posiblemente puede corresponder a una falla inversa con el bloque nororiental levantado (INGEOMINAS, 1997). A la altura del arroyo El Salado se presentan buzamientos mayores a 40ºNW cambiando la estratificación general que buza al SE.

- LINEAMIENTO EL BOSQUE: Cruza en dirección N65ºW por el barrio El Bosque controlando el curso de los arroyos del sector. En la parte alta genera pliegues en las areniscas calcáreas de la base de la Formación La Popa.

- LINEAMIENTO EL ROMANO: Paralelo al del Bosque, controla el curso inferior del arroyo Santo Domingo. Hacia la parte alta, en el barrio Las Américas, basculan las areniscas de la base de la Formación La Popa hacia el suroccidente y posiblemente puede tener desplazamientos mínimos inversos hundiendo el bloque norte.

- LINEAMIENTO SANTO DOMINGO: Presenta dirección NS controlando el curso superior del arroyo del mismo nombre. Teniendo en cuenta el control que presenta sobre los drenajes que descienden del nororiente permite evidenciar posiblemente una falla normal con el flanco oriental levantado.

### 2.2.2. Diaclasamientos

Dada la poca cantidad de afloramientos y sitios para toma de datos de fracturamiento, y teniendo en cuenta los datos obtenidos en estudios anteriores, se puede decir que existe una tendencia en el sector de las calizas arrecifales de la Formación La Popa de dirección N20º-70ºW, coincidiendo con las direcciones de los escarpes, con buzamientos entre 50º y 70º al SW, generando bloques de 0.5 a 1 metro de lado, disminuyendo el tamaño de los bloques en zonas cercanas a los lineamientos.

Los datos tomados hacia la parte media y baja de las laderas occidentales, en la Formación Las Perdices, muestran tendencias de diaclasamiento de dirección N10º-75ºE con buzamientos hacia el NW entre 74º y 87º, N30º-85ºE con buzamientos entre 50º-80º al SE, N75º-86ºW con buzamientos entre 15º-74ºNE y N55º-85ºW con buzamientos entre 28º-43º al SW.


C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

La mayor parte de los diaclasamientos en las arcillas corresponden a deformaciones propias de los materiales, dada su naturaleza blanda, y pueden estar asociados a efectos gravitatorios.

## 2.3. GEOLOGIA LOCAL

Para el sector de Carson y la carrera 38 donde el movimiento en masa destruyo la Urbanización Carson Mirador y Puertas del Caribe, afloran las siguientes formaciones Geológicas (ver Figura 2. 1).

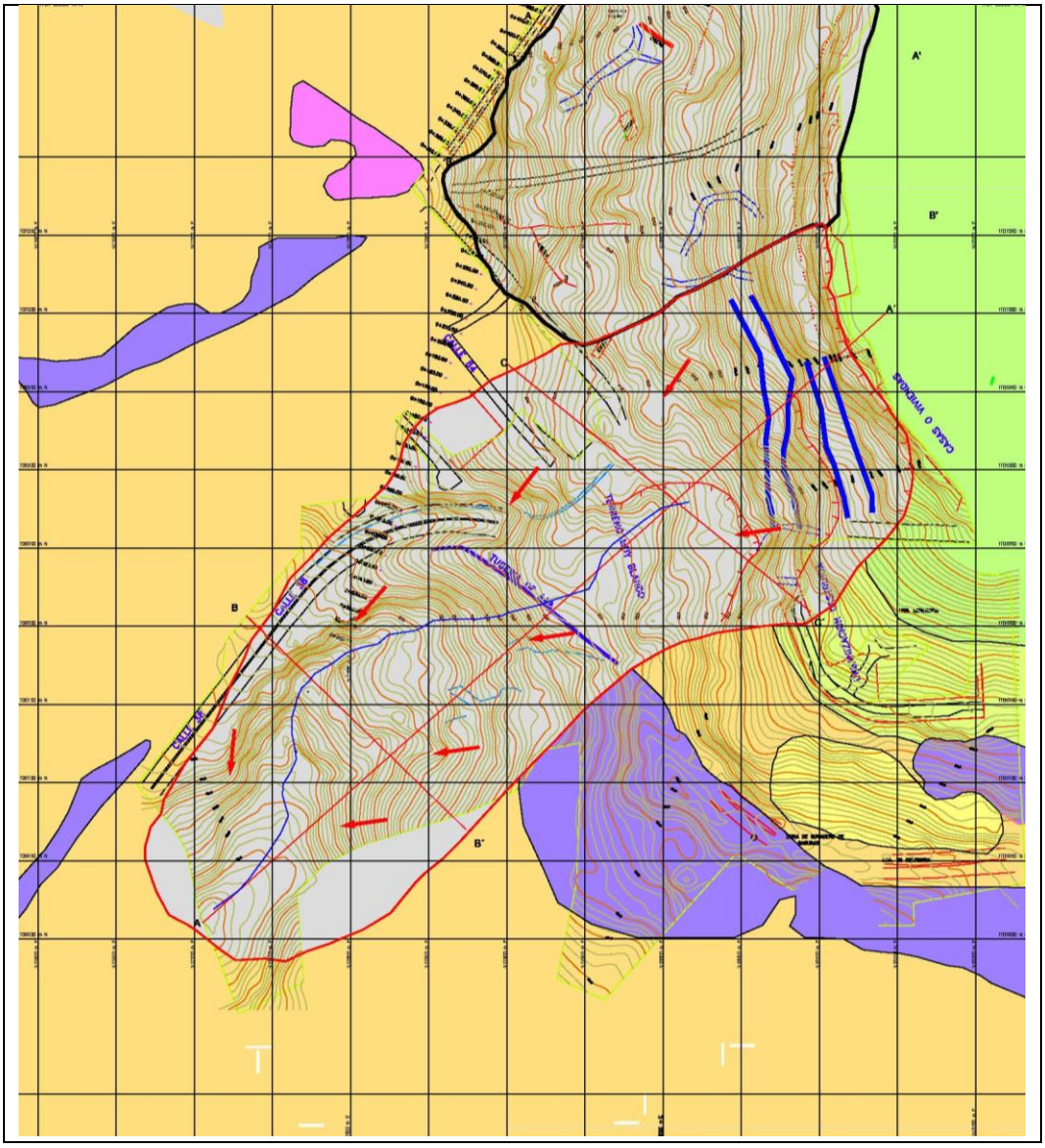



***Figura 2. 1 Plano Unidades Geológicas Superficiales Carson Mirador – Carrera 38***



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

### 2.3.1. Formación La Popa Conjunto Superior (Rdca)

En el sector oriental de este el Conjunto Superior presenta areniscas calcáreas y calizas arrecifales. El Conjunto Superior de la Formación La Popa se caracteriza por la presencia de calizas arrecifales porosas, de color amarillo a crema, compuestas por fragmentos de conchas de bivalvos, interestratificadas, en estratos plano paralelos que varían entre 2 y 5 centímetros de espesor, conformando bancos hasta de 6 metros de altura. En algunos sectores, estas se encuentran interestratificadas con estratos de conglomerados calcáreos de hasta de 2 metros, de granos redondeados entre 3 y 5 centímetros, embebidos en una matriz arcillosa, calcárea, de color amarillo parduzco. Los granos están compuestos por cuarzo, líticos de rocas ígneas, chert y fragmentos de conchas (Bivalvos), gasterópodos, dientes de peces y bioturbación.

Esta unidad se puede observar en el sector de Carson Mirador donde los movimientos en masa han dejado bien expuesta la roca; también se extiende hacia el norte (Barrio los Nogales) donde se puede observar en la corona de los movimientos en masa ocurridos en el segundo semestre de 2010 (ver Figura 2. 2).



***Figura 2. 2 Afloramientos del Conjunto Superior de la Formación Popa en la Corona del deslizamiento de Carson, la zona se ha reconformado morfológicamente en pequeñas***



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

A pesar de la aparente dureza de esa unidad, esta se encuentra muy meteorizada y deja fluir cantidades considerables de agua que al no encontrar drenajes va formando pocetas que ayudan a mantener saturada la zona.

Esta unidad genera una morfología suave a moderada a excepción de los bordes de escarpe donde forma taludes verticales de hasta de 6 metros que puntualmente conforman el límite superior de movimientos en masa. Las viviendas afectadas por el movimiento en masa fueron demolidas y se construyeron terrazas para distribuir los materiales.

### 2.3.2. Arcillolitas Calcáreas (Margas) (Formación La Popa Conjunto Inferior) (Rbam)

Esta unidad se asocia al Conjunto Inferior de la Formación La Popa, se caracteriza por estar compuesta por arcillolitas calcáreas masivas (margas), color gris verdoso a gris amarillento, con presencia esporádica de fragmentos calcáreos Se presentan esporádicamente intercalaciones delgadas de areniscas arcillosas, friables, de grano medio, color amarillo.

Hacia la base de esta secuencia se encuentran intercalaciones de areniscas friables, grano medio a grueso, localmente arcillosas, de color pardo amarillento, compuestas por cuarzo y feldespato. Aparecen también areniscas calcáreas, de grano fino, color gris amarillento.

Se localizan hacia la parte inferior de los escarpes dejados por las calizas arrecifales del nivel superior la Formación La Popa, observándose principalmente hacia los sectores de Carson Mirador.

### 2.3.3. Arcillolitas Laminadas (Formación Las Perdices) (Rbal)

Unidad constituida principalmente por arcillolitas y shales (arcillolita fisil) de color verde oliva a gris verdoso, con algunas intercalaciones de limolitas y areniscas de grano muy fino a fino, color gris amarillento, friables, asociadas a la Formación Las Perdices.

Las arcillolitas son de color gris oscuro, verde oliva y pardo amarillento, con yeso diseminado en láminas delgadas, se encuentran interestratificadas con areniscas friables, de grano fino a grueso, con capas entre 5 centímetros y 1 metro de espesor. En algunos sectores las arcillolitas pasan a ser arenosas con lentes de gravas, adquiriendo consistencia dura. Presentan laminación plana paralela a suavemente ondulada. Estas rocas generan un suelo residual arcillo arenoso de color marrón, de consistencia media, plástico y expansivo.


C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

Desarrolla laderas onduladas y disectadas, formando un drenaje dendrítico subparalelo, poco denso. Esta unidad aflora principalmente hacia en los barrios Campo Alegre, Las Terrazas y en la Carrera 38 donde la vía fue destruida.

Las arcillolitas cuando están frescas, en general son duras, compactas, de consistencia alta, se parten en pequeños nódulos y tienen fractura concoidal. Cuando se encuentran alteradas desarrollan suelos residuales arcillosos, de color café a gris oscuro, de poco espesor, menor a 1 metro, muy plásticos y adquieren propiedades expansibles, observándose que la mayor parte de las viviendas ubicadas sobre estos materiales presentan problemas de agrietamientos y hundimientos. También se caracterizan por que en laderas con pendientes moderadas tienden a reptar y generar movimientos en masa al saturarse (ver Figura 2. 3)



***Figura 2. 3*** *Arcillolitas de la Formación Perdices*

## 2.4. MOVIMIENTOS EN MASA

El sector de la Carrera 38 se encuentra severamente afectado por movimientos en masa de tipo flujo y rotacional, desarrollados sobre arcillolitas de la Formación Las Perdices y nivel de calizas de la formación Popa. Las arcillolitas de la formación perdices en condiciones secas, son estables, pero al entrar en contacto con el agua se alteran rápidamente y originan flujos que desplazan volúmenes considerables de material arcilloso que en el sector han destruido la Carrera 38 en un tramo aproximado de 150 metros, la red del acueducto que abastece varios barrios del sector y los conjuntos residenciales Carson Mirador y Puertas del Caribe, donde el primero fue destruido totalmente y el segundo en un 40%, como se observa en la Figura 2. 4.



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

En la figura se observan las direcciones de desplazamiento de los materiales y el contraste de color entre las Fomaciones Popa (amarillo) y las Perdices (marrón). Durante la temporada de lluvias del segundo semestre de 2010, se reactivaron los movimientos en masa del sector movilizando los materiales que se encuentran hasta profundidades que varían entre pocos centímetros y 5 metros aproximadamente.

El movimiento se desarrolla en terreno con pendiente suave (promedio del 20%), y tiene bien definidas dos direcciones de desplazamiento de los materiales que convergen en la parte baja donde generan sobrecargas que han deformado el terreno y destruido el drenaje natural que discurre por el sector generando acumulaciones de agua que mantienen completamente saturada la masa en movimiento.

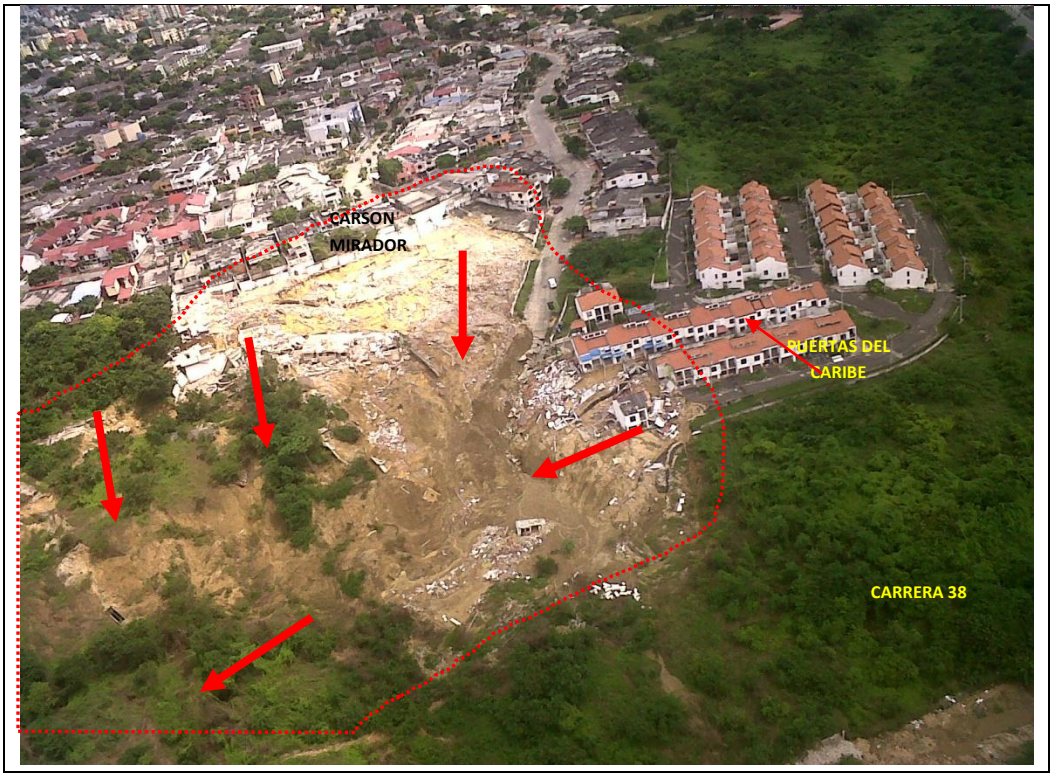



***Figura 2. 4*** *Panoramica general de la parte alta del movimiento en masa que destruyó un tramode la Carrera 38 y los conjuntos residenciales Carson Mirador y Puertas del Caribe.*

En el cuerpo del deslizamiento se pueden definir tres sectores:

- El primero localizado en la zona de corona se caracteriza porque se desarrolla en niveles de calizas arrecifales de la formación Popa donde se encontraban los conjuntos residenciales Carson Mirador y Puertas del Caribe. Forma escarpes de hasta 5 metros de altura y la zona fue reconformada morfolicamente con la construcción de 2 terrazas (ver Figura 2. 5).


C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

- El segundo localizado en la parte media, se caracteriza por la acumulación de los materiales desplazados desde la parte alta y por la acumulación de agua al no encontrar drenajes para su rápida evacuación. En este sector se destruyo el tubo del acueducto y un tramo de la Carrera 38 afectando la movilidad de la ciudad. El cierre de la Carrera 38 propicio la disposición de escombros y basuras sobre la calzada (ver Figura 2. 6).

- El tercero localizada en la pata del movimiento en masa, en este sector se observan deformaciones del terreno causadas por el empuje de los materiales acumulados en la parte media y en poco tiempo pueden afectar las viviendas ubicadas frente a este.



***Figura 2. 5*** *Corona del deslizamiento donde afloran niveles de calizas arrecifales de la Formación Popa. Las viviendas afectadas fueron demolidas y los materiales distribuidos en dos terrazas.*



***Figura 2. 6*** *Parte media del movimiento donde se ha acumulado parte del material deslizado de la parte alta, alterando la morfología del terreno y destruyendo un tramo de la carrera 38.*



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

# 3. ANÁLISIS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

Con el fin de dar un marco de referencia a los aspectos hidrológicos e hidráulicos particulares de la zona en estudio, se presenta a continuación el resultado de la consulta de fuentes secundarias, las cuales permiten visualizar características principales respecto al clima de la zona.

## 3.1. EL CLIMA DE ATLÁNTICO

El Departamento del Atlántico cuenta con una privilegiada posición geográfica no solo por su localización sobre la Costa Caribe al norte de Colombia, sino que además se encuentra bordeado al oriente por el río Magdalena, principal río del país, hasta la desembocadura del mismo en el sector denominado Bocas de Ceniza. Esta ubicación estratégica le permite al departamento contar con una muy importante red hídrica compuesta no solo por el río Magdalena sino que a él se une el canal del Dique, que se ubica en el extremo sur y que sirve de frontera natural con el departamento de Bolívar, y la gran costa sobre el mar Caribe.

El departamento del Atlántico está situado al norte del territorio nacional, enmarcado dentro de las siguientes coordenadas: Latitud norte 10° 15' 36'' (Sur de San Pedrito) y 11° 06' 37'' (Bocas de Ceniza). Longitud oeste de Greenwich 74° 42' 47'' (margen izquierda del río Magdalena) y 75° 16' 34'' (intersección Santa Catalina y Arroyo Grande).

Respecto al clima, el departamento presenta un *CLIMA TROPICAL DE TIPO ESTEPA Y SABANA* de carácter árido en la desembocadura del río Magdalena y en los alrededores de Barranquilla; semiárido en las fajas aledañas al litoral y al río Magdalena, y semihúmedo desde el municipio de Sabanalarga hacia el sur. La humedad del aire, según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), se ubica entre un máximo de 85.3% y un mínimo de 48.3%, y es mayor en el sur que en el norte del departamento debido a la evaporación de agua de las ciénagas y el embalse del Guájaro y a la dirección e intensidad de los vientos.

El régimen anual de lluvias es bimodal, con dos períodos de lluvia (mayo-junio y agosto-noviembre) alternados con dos períodos secos (diciembre-abril y junio-julio); el nivel de precipitaciones aumenta de norte a sur. En general, todas las tierras del departamento se encuentran en el piso térmico cálido. La temperatura media anual es de 27°C, con máximas que sobrepasan los 33.3°C y mínimas por encima de los 21° C.


C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

Finalmente, es de anotar que en el territorio del Atlántico existen dos tipos de paisaje: uno montañoso con serranías y colinas de poca altura, que ocupa cerca del 45% del área departamental, y un paisaje plano de terrazas, llanuras aluviales y ciénagas, que conforman las tierras vecinas del canal del Dique, el río Magdalena y su desembocadura en el mar Caribe. En estos dos paisajes se distinguen cuatro subregiones:

1. La primera está localizada en proximidades del río Magdalena, y es de origen aluvial y tierras bajas e inundables.
2. La segunda, localizada al sur del departamento, comprende un área cenagosa, parcialmente aprovechada en agricultura.
3. La tercera, aledaña al mar Caribe, es de origen sedimentario (fluvial y marítimo) y conforma el litoral y la costa.
4. La cuarta, relativamente montañosa, está situada en el centro y en el oeste del departamento y comprende alturas inferiores a los 500 m sobre el nivel del mar.

Este relieve, que es una prolongación de la serranía de San Jerónimo, puede considerarse como la última ramificación de la cordillera Occidental. En este conjunto orográfico se destacan las serranías de Luruaco, Capiro, El Pajal de la Piedra, Oropapia, Piojó y Santa Rosa.

El litoral no tiene accidentes notables, pero se pueden mencionar el cabo Barro y las puntas Astilleros, Castillejo, Los Manzanillos, Morro Hermoso, Morro Pelado, Piedra y Sabanilla, así como las ensenadas Rincón Hondo y El Puente.

### 3.2. EL CLIMA DE BARRANQUILLA

Barranquilla se ubica en la zona noroccidental del departamento, a una distancia cercana a los 1.000 km de Bogotá, la capital de Colombia. Se constituye gracias a su ubicación, en un nodo de desarrollo no sólo para todos los municipios del Atlántico, sino también para la gran mayoría de ciudades de la región Caribe de Colombia.

El clima de Barranquilla es *TROPICAL CÁLIDO SECO* y presenta anomalías y diferencias como consecuencia del sistema meteorológico local y de la ubicación geográfica. No se generan abundantes selvas características del clima tropical. Por el contrario, es una zona seca, como lo es todo el litoral Caribe colombiano, debido a que los vientos alisios del noreste soplan paralelos al litoral, absorbiendo la humedad y empujándola hacia el interior de la Región Caribe hasta las estribaciones de la cordillera de los Andes, donde producen abundantes lluvias.

Los vientos alisios son secantes y en determinadas épocas del año soplan con más energía, aumentando la sequía en la región. La sequía también se produce por un fenómeno conocido


C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

como la "Sombra de sotavento" de la Sierra Nevada de Santa Marta, la cual se constituye en una barrera para los vientos alisios del noreste. Dichos vientos, luego de aridecer la península de la Guajira, alojan toda la humedad del lado de Barlovento de la Sierra Nevada produciendo abundantes lluvias, hasta 2500 mm anuales, pero en el lado de sotavento esto es del lado de Barranquilla, lo que genera sequía la cual se prologa hasta el oriente de la ciudad. Es por ello que el promedio de lluvias en la parte oriental de la ciudad (Barrios las Nieves, Rebolo, La Luz, Simón Bolívar) es ligeramente menor que en el occidente y suroccidente de la ciudad.

La atmósfera de la ciudad está condicionada por su ubicación, en una zona intermedia entre dos extremos climáticos: el árido del norte (desierto de la guajira) y la región húmeda al sur que se inicia en el valle medio del Magdalena y recibe la influencia del mar Caribe.

El clima tropical y seco se caracteriza por dos periodos uno seco y otro de lluvias así:

- El periodo seco comprende desde diciembre a marzo y se caracteriza porque los vientos alisios del noreste soplan con energía y causan generalmente daños a las viviendas.
- El periodo de lluvias comprende los meses de abril hasta noviembre. El periodo lluvioso se interrumpe por un verano conocido como "Veranillo de San Juan", que se origina como consecuencia de la entrada a la ciudad de los vientos alisios del sureste, los cuales provocan la sequía durante un periodo tiempo.

Durante la temporada invernal, la escasez de los vientos y la abundante humedad, produce en la ciudad un ambiente caluroso con características malsanas de selva tropical.

Entre los factores que determinan el clima de Barranquilla están la latitud, la cercanía al mar y el relieve. La ciudad está muy cerca del paralelo 0° (línea del Ecuador), por lo cual los rayos del sol caen perpendiculares, registrándose altas temperaturas durante todo el año y el correspondiente registro de brillo solar. Esta localización igualmente ubica a Barranquilla en la Zona Intertropical, la cual se caracteriza por las bajas latitudes, y este factor sumado a su cercanía al mar y a sus tierras bajas, permite una moderación de las temperaturas por la influencia de las brisas marinas. Los vientos alisios del noreste y las brisas marinas, suavizan y refrescan la ciudad.

### 3.2.1. Parámetros del Clima de Barranquilla

Dado que es incidente el clima en el comportamiento del suelo y en su conjunto el mismo es una combinación de diversos factores, a continuación se describen de forma general los parámetros del clima registrados por estaciones pertenecientes al Instituto de Hidrología,


C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, como la autoridad en éste tema (ver Figura 3. 1 a Figura 3. 4).

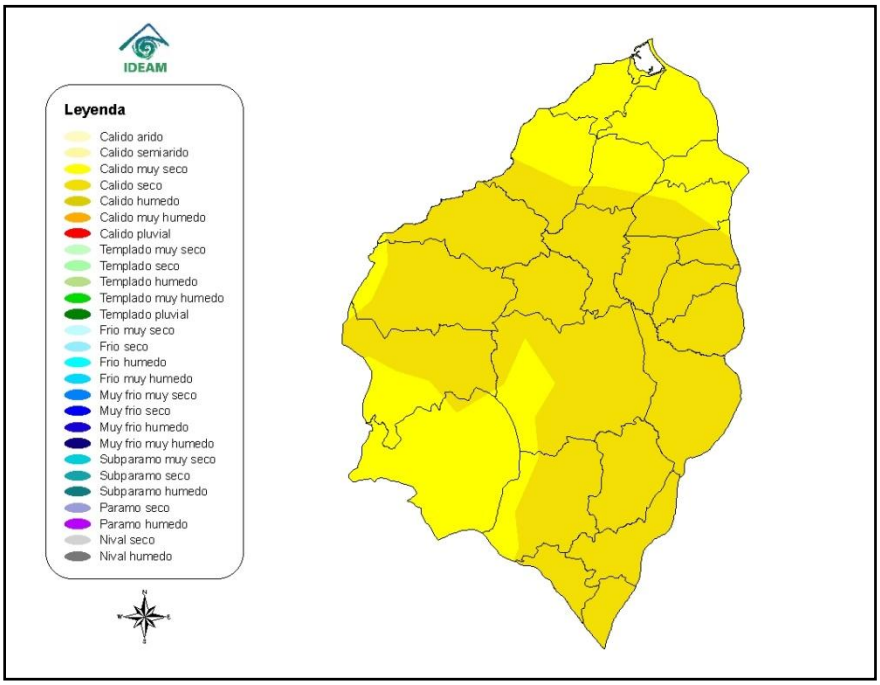



***Figura 3. 1 Atlántico - Clasificación Climática***[3]

- Radiación Solar: Por las razones antes expuestas, Barranquilla recibe alta radiación durante todo el año, aproximadamente unos 600 cal/cm², los

- Brillo Solar: Los valores promedios mayores de brillo solar se presentan en los meses de Diciembre y Enero con 225.5 y 280 horas/mes. Respectivamente. Los meses con menos brillo solar son Septiembre y Octubre con 164.2 y 163.9 horas/mes; el resto del año oscila entre 183.8 y 245.5 horas/mes.

- Vientos: En Barranquilla predominan dos flujos con direcciones noreste (42.7%) y norte (25%), con predominio de vientos moderados cuyas velocidades medias oscilan entre 3.4 y 7.9 m/s. También se presentan frecuencias relativas al Este, Sudeste y Sur, con 5.8%, 6.1% y 6.1% de observaciones, respectivamente.

[3]Fuente: IDEAM ATLAS CLIMATOLOGICO DE COLOMBIA ISBN 958-8067-14-6



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

- Humedad relativa: Al igual que la temperatura, es muy constante, por lo tanto, la media anual varía entre el 77% y el 82%; en forma general se aprecia que la humedad relativa no baja del 72% ni supera el 87% a lo largo del año.

- Evaporación: El mes de mayor evaporación en el año es el mes de Junio, con un promedio de 304.1 mm; los meses con más baja evaporación son Septiembre, Octubre y Noviembre, siendo Octubre el de menor evaporación con 122.7 mm.

- Temperatura: Las temperaturas máximas superan siempre los 33.3 °C, mientras las mínimas están por encima de los 21.4 °C hasta los 22.6 °C. El tipo de clima es seco, con gran déficit de agua, y cálido.

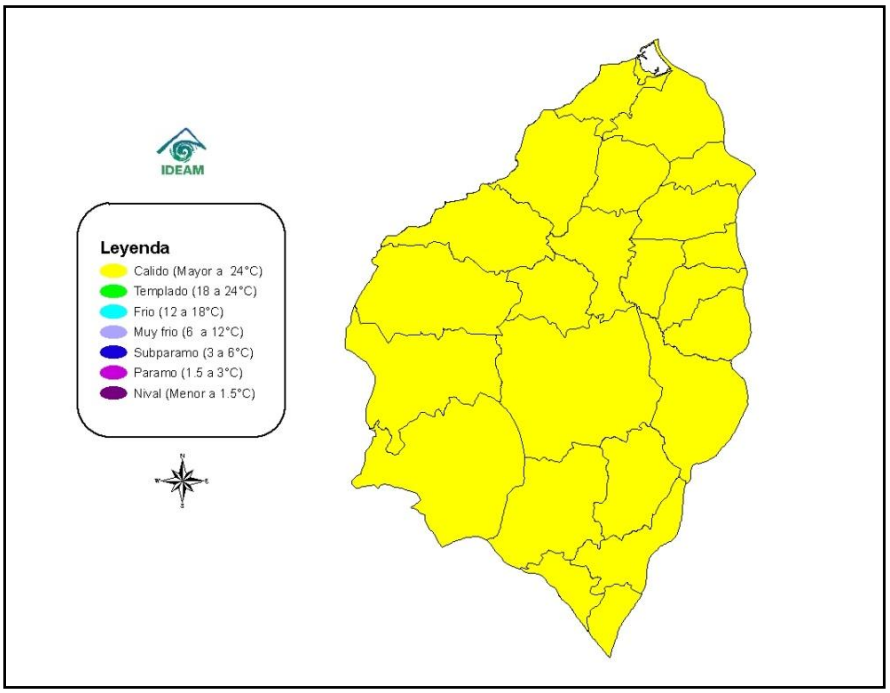



***Figura 3. 2 Atlántico – Temperatura Media Anual (°C)[4]***

- Precipitaciones:El período de lluvias es muy definido y va del mes de mayo al de octubre, con precipitaciones que oscilan entre 60 y 173 mm/mes, constituyéndose este último como el de más altos índices de pluviosidad. El período seco transcurre entre los meses de diciembre hasta abril, con promedios entre 1.0 y 22 mm/mes. Así mismo, el número de días con precipitación oscila a lo largo del año entre 0.0 y 14.0 días, mientras que la precipitación máxima en 24 horas durante el año presenta valores entre 1.0 y 47.8 mm.

[4]Fuente: IDEAM ATLAS CLIMATOLOGICO DE COLOMBIA ISBN 958-8067-14-6



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

La duración de los eventos es en general de 90 minutos, con eventos extraordinarios de duración superior a 120 minutos. Las tormentas son de corta duración pero de gran intensidad. La hora de iniciación de los eventos está en general, entre las 11:00 a.m. y las 4:00 p.m.

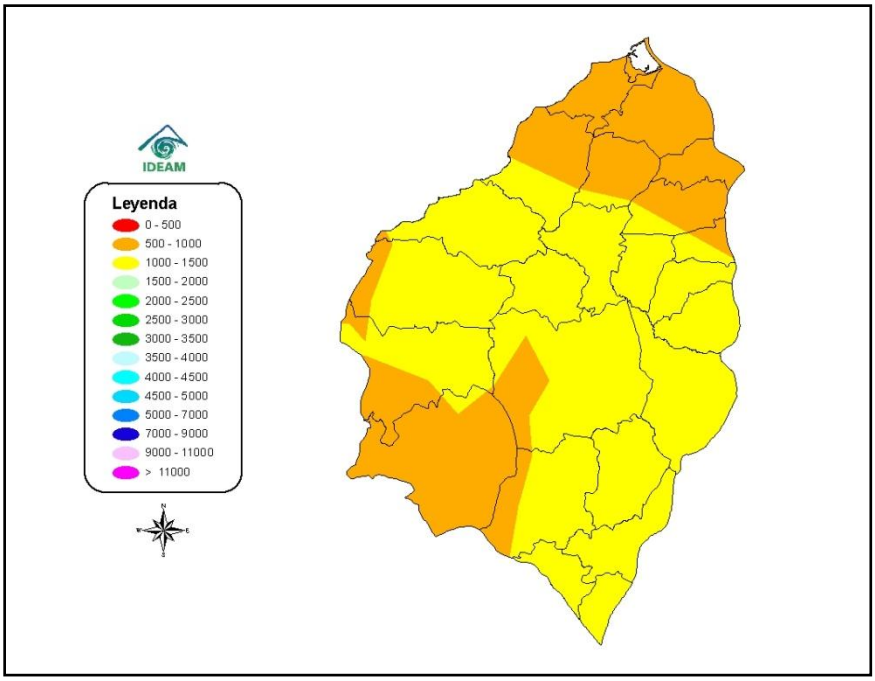



***Figura 3. 3 Atlántico – Precipitación Total Anual (mm)[5]***

Durante el período de precipitaciones de mayor intensidad el sistema vial de la ciudad transforma sus componentes (calles) en "canales" de drenaje por los cuales se evacúan las aguas lluvias, cuyos efectos restrictivos sobre la circulación vehicular son particularmente notorios.

Durante estos cortos pero intensos períodos de lluvia, las actividades urbanas se paralizan totalmente. Adicionalmente, el depósito de basuras en los arroyos urbanos para que sean arrastradas por la corriente da lugar a taponamientos que incrementan el volumen de agua y ocasionan inundaciones en determinados sectores, como también, luego de bajar el nivel de las aguas, estas se esparcen sobre las vías por efecto de la pérdida de la capacidad de arrastre de las aguas, propiciando suciedad y deterioro ambiental de la ciudad.

[5]Fuente: IDEAM ATLAS CLIMATOLOGICO DE COLOMBIA ISBN 958-8067-14-6



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

- Humedad:La cercanía al mar, la ubicación a orillas del río Magdalena, la zona del Parque Natural Nacional Isla Salamanca, los humedales del delta de la desembocadura del río Magdalena, hace que esta zona tenga bastante humedad; sin embargo, ésta es modificada por los vientos secantes que la empujan hacia el interior de la región para producir abundantes lluvias en las estribaciones de los Andes.

  Los mayores niveles de humedad se registran en Octubre, el mes más lluvioso con 84%, le siguen Septiembre y Noviembre con 82%, agosto con 81% y Mayo, Junio y Julio con 80%. Los meses de humedad son Febrero y Marzo con 77%.

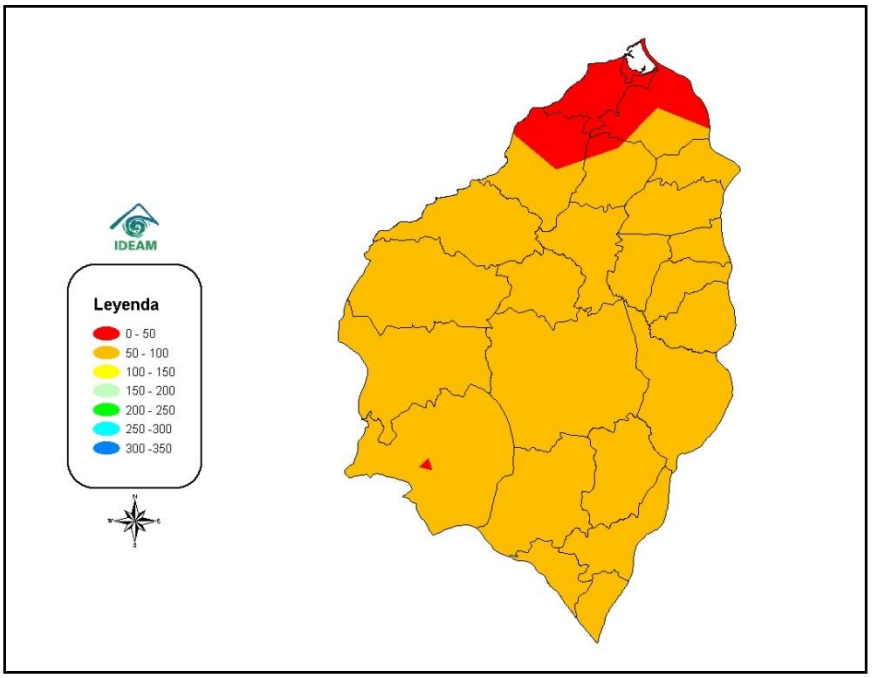



***Figura 3. 4 Atlántico – Número de Días con Lluvia***[6]

## 3.3. EL SISTEMA HIDROLÓGICO DE BARRANQUILLA

El sistema hidrológico del Distrito de Barranquilla se direcciona hacia la parte más baja de la Ciudad y en éste caso hacia el río Magdalena y está compuesto por una serie de caños que lo alimentan. Entre ellos se tiene: La Auyama, Arriba, Los Tramposos y Las Compañías; así como numerosos arroyos los cuales se encuentran en su gran mayoría en la parte urbana y son: Platanal, El Salado, Don Juan, Carreras 8,15 y 19, Rebolo, Hospital, La Paz, Bolívar, Carrera 51, Carrera 53, Felicidad, Carrera 65, Coltabaco, Carrera 58, Carrera 71, Country, Siape, Calle 92, Santo Domingo, Del Bosque y El Salado 2.

[6]Fuente: IDEAM ATLAS CLIMATOLOGICO DE COLOMBIA ISBN 958-8067-14-6



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

El sistema de caños en la zona central de la ciudad presenta severos procesos de deterioro ambiental motivados por años de abandono, tratamientos urbanos inadecuados, vertimientos de residuos sólidos, escasa recirculación del agua, entre otros

Hacia el occidente de la ciudad existen dos cuerpos principales de agua, denominados arroyo Grande y arroyo León. Estos cursos de agua son intermitentes, dado que solo transportan agua en los períodos lluviosos. En particular, sobre el arroyo León se tiene que su cuenca es de 247 km², la longitud de la corriente principal desde la divisoria de aguas hasta su desembocadura es de 37 km y se parte de la vertiente de la costa, limita con los Cerros de Barranquilla al este y el Cerro Pan de Azúcar al oeste, al norte con un cordón de Dunas y al sur con la terraza de Galapa.

Parte esencial del sistema es el Río Magdalena, que como se mencionó anteriormente, es la principal cuenca hidrográfica del país. Bordea la ciudad de Barranquilla en una longitud aproximada de 19.5 km, presenta pendientes de 0.39 a 0.40%. Así mismo su velocidad promedio está entre 0.4 y 2.2 m/s Sus caudales (según registros en Calamar 1971 — 1993) presentan el siguiente comportamiento: octubre, noviembre y diciembre muestran los mayores niveles con 636; 718 y 695 cm. respectivamente mientras que los menores se dan en febrero y marzo con valores de 336 y 312 cm. respectivamente.

Otro de los ecosistemas destacados en el territorio está constituido por la Ciénaga de Mallorquín, estructura natural construida durante miles de millones de años que está permanentemente sometida a intervención, consciente o inconscientemente, por la ejecución de planes y proyectos de desarrollo regional que causan su degeneración, empobrecimiento y hasta su desaparición en el transcurso de muy pocos años. La Ciénaga de Mallorquín actualmente es un cuerpo de agua somera de 1200 Ha. aproximadamente, comunicada con el mar esporádicamente en períodos en que natural o artificialmente abren una o varias bocas sobre la barra que la separa del mar.

Con la construcción del Tajamar Occidental en Bocas de Ceniza en 1925 – 1935, la ciénaga adquiere su actual configuración dado que anteriormente se trataba de un estuario-deltaico que reunía un sistema comprendido por las ciénagas de Cantagallo, Mallorquín, La Playa, Manatíes con varias bocas. Las obras de bocas de ceniza trajeron como consecuencia un retroceso de la línea de playa al oeste de tajamar occidental.

La profundidad de la Cienaga no supera el metro, la salinidad varía según se presente o no la apertura de la boca. En su condición serrada la salinidad supera los 75 ppm, después de un largo período de evaporación. En condiciones abiertas varía de 16 a 35 ppm, sufriendo una fuerte dilución cuando se presentan las lluvias.


C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

## 3.4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Teniendo en cuenta la distribución de drenajes de la ciudad de Barranquilla, se puede establecer que el sitio de estudio se localiza en el sector occidental de la Ciudad, en zona de laderas moderadas que vierten sus aguas a las zonas bajas del sector, muchas veces a través de calles y carreras sin mayor control.

Frente a las condiciones del material se observa alta humedad debido a la ola invernal vivida en el país en meses anteriores, tomando unas características de material lodoso que no permite la salida del agua atrapada en algunas partes del cuerpo del deslizamiento. Desde la corona del deslizamiento se identificaron claramente, caminos de flujo. Adicionalmente, dado el alto grado de saturación del suelo del sector, se ha identificado la presencia antigua de corrientes de agua que fueron taponadas por el material y por el desarrollo urbanístico del sector.

Dentro de la exploración mecánica que se ha realizado en el sector, se ha encontrado altos niveles freáticos, lo que ratifica los altos niveles de humedad del suelo; debido a esto, se espera que el grado de saturación de los materiales sobre la ladera, el ángulo de fricción residual sea bajo (basados en lo encontrado en el sector Toboganes, se espera que sea cercano a 10 grados). A pesar que el deslizamiento ocurrio hace mas de un años, según resultados de ensayos de laboratorio de INGEOMINAS, el movimiento se mantiene con actividad reciente como lo denotan grietas frescas y pequeños escurrimientos sectorizados del material, consistentes con el ángulo de reposo del flujo (ladera muy tendida) sin desconocer la pendiente de la misma. Este movimiento puede incrementarse con fuertes lluvias dada la mezcla de los materiales allí desplazados (arcillas, calizas y arenas) que le brindan propiedades de alta porosidad y a su vez alta capacidad de recepción y acumulación de agua.

En la Figura 2. 1 se observan las direcciones del movimiento, donde se observa que confluyen hacia la zona suroccidental del sector, lo cual concuerda con el principal canal natural del sector, donde se observa que fluye en la misma dirección, acumulándose en la parte final del deslizamiento demarcado en la figura.

Sobre los tres flujos vale la pena anotar que inicialmente el mecanismo de falla pudo ser rotacional múltiple y sectores donde se presentan fallas traslacionales, adicionalmente, en la pata produjeron el levantamiento de capas hasta ahora estables, de tal forma que el material deslizado fluyó sobre el terreno dejando formas de lengüeta. Esto último puede indicar de alguna manera que para estos últimos sectores la superficie de falla es superficial.


C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

No se observaron flujos de agua circulando de forma continua desde la parte superior a la inferior de los movimientos sin embargo algunos chorros de menor tamaño son observados discontinuos. Al respecto vale la pena anotar que los sistemas de abastecimiento de agua y recolección de aguas servidas que cruzaban el movimiento fueron en su momento modificados y su paso se efectuaba en tuberías flexibles convencionalmente empleadas para sistemas de acueducto en diámetros de 2", 8" y hasta 10"antes del movimiento en masa. Hoy se observan algunas otras medidas implementadas para solucionar los problemas de abastecimiento y recolección pero no es una labor fácil pues con la actividad del movimiento, dichas reparaciones se ven constantemente afectadas, dificultan el manejo, acopio o el retiro de materiales en la pata, dejando en claro que se trata de medidas transitorias.

Finalmente se anota sobre el entorno del movimiento que se observa particular degradación de las condiciones generales de estabilidad iniciando por el movimiento en Carson Mirador, al norte del deslizamiento y en general a lo largo de la ladera vertiente derecha del Arroyo Grande. Así mismo se considera prudente y necesario dar una solución integral al problema de riesgo de las familias localizadas en la corona de la ladera a fin de contar con un corredor y el espacio requerido para las obras de mitigación en la parte superior.

Igualmente se hace necesario efectuar las acciones pertinentes para proteger a la población residente en la parte inferior de los flujos y mitigar en el inmediato plazo la posibilidad de quedar afectados por ingreso de un nuevo flujo o de escombros a los edificios y viviendas, en este caso con mayor peligrosidad en el Flujo 3 por la pendiente de la ladera.

En la Figura 3. 5 a la Figura 3. 11 se presentan algunas fotografías del sector con los aspectos antes mencionados.



***Figura 3. 5*** *Escarpe del deslizamiento al norte de Carson Mirador*



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia



***Figura 3. 6*** *Viviendas afectadas por el deslizamiento en la parte superior del mismo*



***Figura 3. 7*** *Vista de la Carrera 84 B al noroccidente*



***Figura 3. 8*** *Vista de la Carrera 84 B al sur oriente*



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia



***Figura 3. 9*** *Vista detalle por la Carrera 84 B al sur oriente y noroccidente*



***Figura 3. 10*** *Vista escarpe próximo a la corona del deslizamiento por la Calle 83 A hacia el norte y hacia el sur (origen del movimiento en la parte superior del talud)*



***Figura 3. 11*** *Vista escarpe secundario del deslizamiento por la calle 83 visto hacia el deslizamiento de Carson Mirador y éste último en su condición actual*



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

## 3.5. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

### 3.5.1. Investigación de Campo

Se hizo un recorrido de la zona de interés y con base en la dirección de escurrimiento superficial de las aguas lluvias en las vías se determinó la cuenca para el estudio.

### 3.5.2. Inventario Información Hidrológica

Para el estudio de la zona de interés fueron consultadas las fuentes oficiales de información. Para tal efecto se realizó la búsqueda y se relacionaron las estaciones presentadas en la Tabla 3. 1 como las más próximas al sector, siendo la fuente oficial el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (ver Figura 3. 12).

***Tabla 3. 1*** *Coordenadas de estaciones meteorológicas*

ESTACIONES HIDROMETEREOLÓGICAS
Departamento: ATLANTICO

Municipio: BARRANQUILLA

| Codigo | Nombre Estación | Tipo | Corriente | Latitud | Tipo | Latitud | Elevación | Corriente | Instalación | Suspendida |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2904512 | FLORES LAS | CLIMATOLÓGICA PRINCIAL | MAGDALENA | 11°2'N | CP | 74°45'W | 2msnm | MAGDALENA | 1/4/1971 | No |

Municipio: SOLEDAD

| Codigo | Nombre Estación | Tipo | Corriente | Latitud | Tipo | Latitud | Elevación | Corriente | Instalación | Suspendida |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2904502 | APTO CORTISSOZ | SINOPTINCA PRINCIPAL | MAGDALENA | 10°53'N | SP | 74°35'W | 14msnm | MAGDALENA | 1/5/1940 | No |

Municipio: PUERTO COLOMBIA

| Codigo | Nombre Estación | Tipo | Corriente | Latitud | Tipo | Latitud | Elevación | Corriente | Instalación | Suspendida |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2904023 | PTO COLOMBIA | PLUVIOMÉTRICA | MAGDALENA | 10°59'N | PM | 74°58'W | 5msnm | MAGDALENA | 1/4/1974 | No |




***Figura 3. 12*** *Ubicación de las Estaciones*



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

La localización aproximada obtenida de datos de campo y los datos de coordenadas geográficas de referencia, se puede apreciar en la Figura 3. 12. Donde se presenta adicionalmente, la localización de la estación suplementaria Aeropuerto Ernesto Cortissoz, la estación pluviométrica de Pto Colombia y la climatológica principal Las Flores.

### 3.5.3. Comportamiento de la Precipitación

Mediante el procesamiento y análisis de la información adquirida de precipitación total y precipitación máxima en 24 horas, se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 3. 2

***Tabla 3. 2*** *Valores de precipitación total mensual*

ESTACION LAS FLORES
2904512
TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DIC | VR ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MEDIO | 0.9 | 1.5 | 0.6 | 12.1 | 86.7 | 66.0 | 35.1 | 77.3 | 125.9 | 149.8 | 88.5 | 34.2 | 678.5 |
| MAXIMOS | 16.5 | 18.7 | 6.3 | 90.7 | 177.9 | 190 | 147 | 251.9 | 332.5 | 378.6 | 252.8 | 140.5 | 378.6 |
| MINIMOS | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.2 | 0.9 | 0 | 5.7 | 19.2 | 25.9 | 0 | 0 | 0 |

ESTACION APTO ERNESTO CORTISSOZ
2904502
TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DIC | VR ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MEDIO | 1.2 | 0.5 | 1.2 | 29.5 | 116.6 | 81.9 | 85.4 | 109.2 | 162.9 | 166.8 | 87.1 | 35.2 | 877.5 |
| MAXIMOS | 20.4 | 6.2 | 14.6 | 142.9 | 320.8 | 215.9 | 296.8 | 309.9 | 299.5 | 362.9 | 242.7 | 214.1 | 362.9 |
| MINIMOS | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.3 | 1.1 | 5.6 | 36.9 | 48.7 | 7.2 | 0 | 0 |

ESTACION PTO COLOMBIA
2904023
TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DIC | VR ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MEDIO | 0.0 | 0.3 | 0.3 | 12.6 | 76.1 | 57.5 | 51.7 | 88.4 | 126.2 | 160.9 | 93.7 | 29.6 | 697.4 |
| MAXIMOS | 0 | 7 | 5 | 106 | 166.6 | 200 | 157 | 293.9 | 282 | 431 | 303 | 444 | 444 |
| MINIMOS | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.2 | 17.3 | 0 | 0 | 0 |

Con relación a las precipitaciones totales anuales es claro el régimen unimodal de las lluvias en las tres estaciones, sus hietogramas se presentan en la Figura 3. 13 a Figura 3. 15.



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

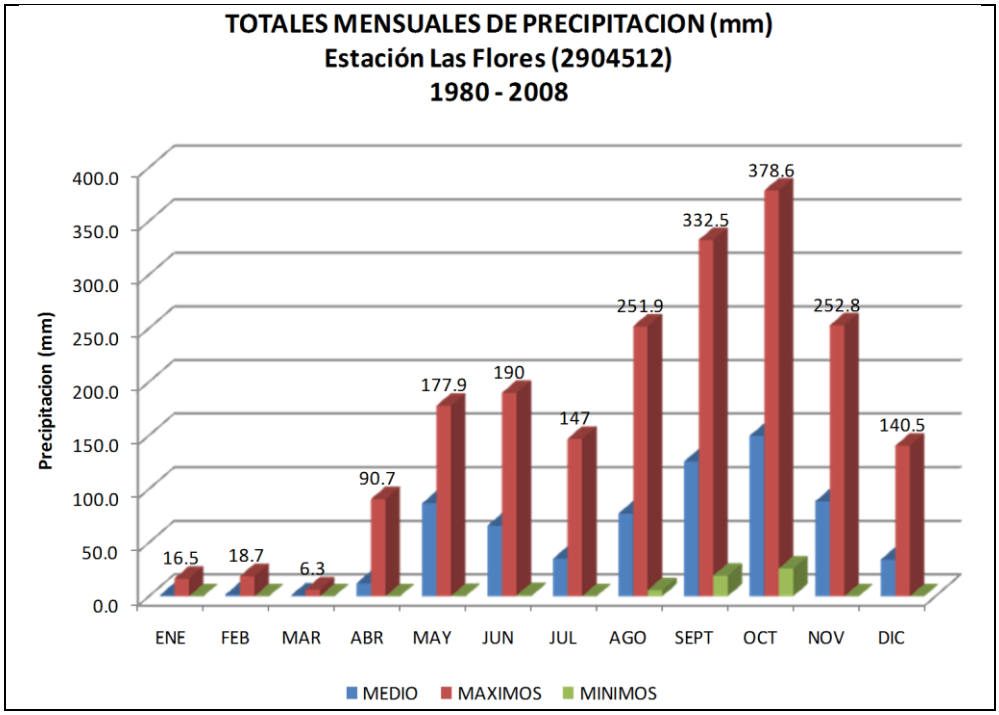



***Figura 3. 13*** *Hietograma Totales Mensuales Estación Las Flores*

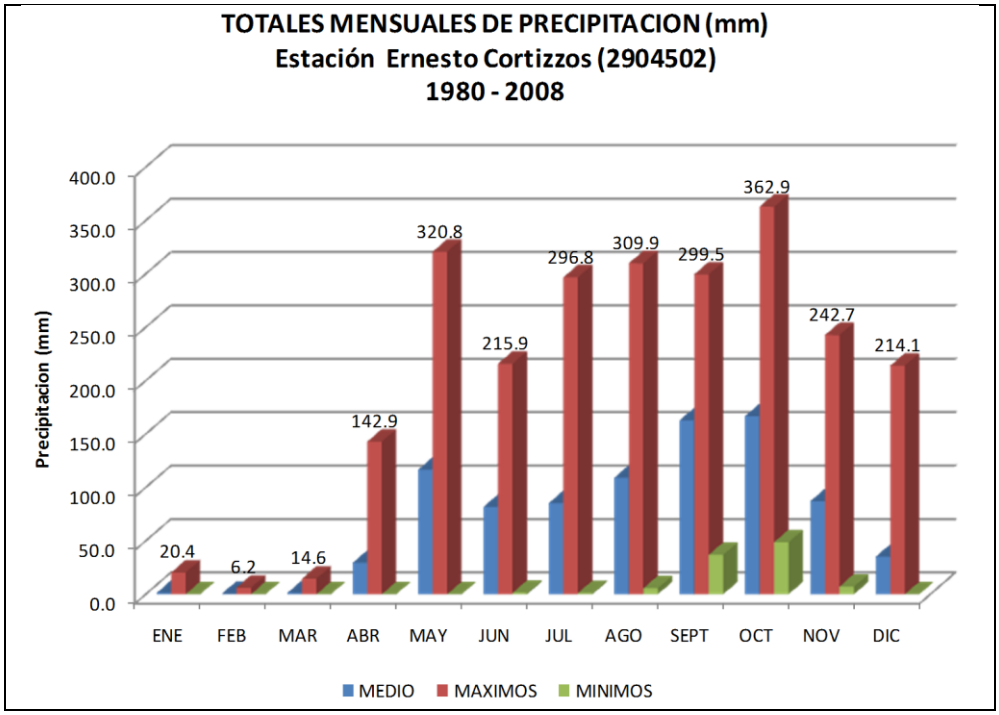



***Figura 3. 14*** *Hietograma Totales Mensuales Estación Ernesto Cortissoz*



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

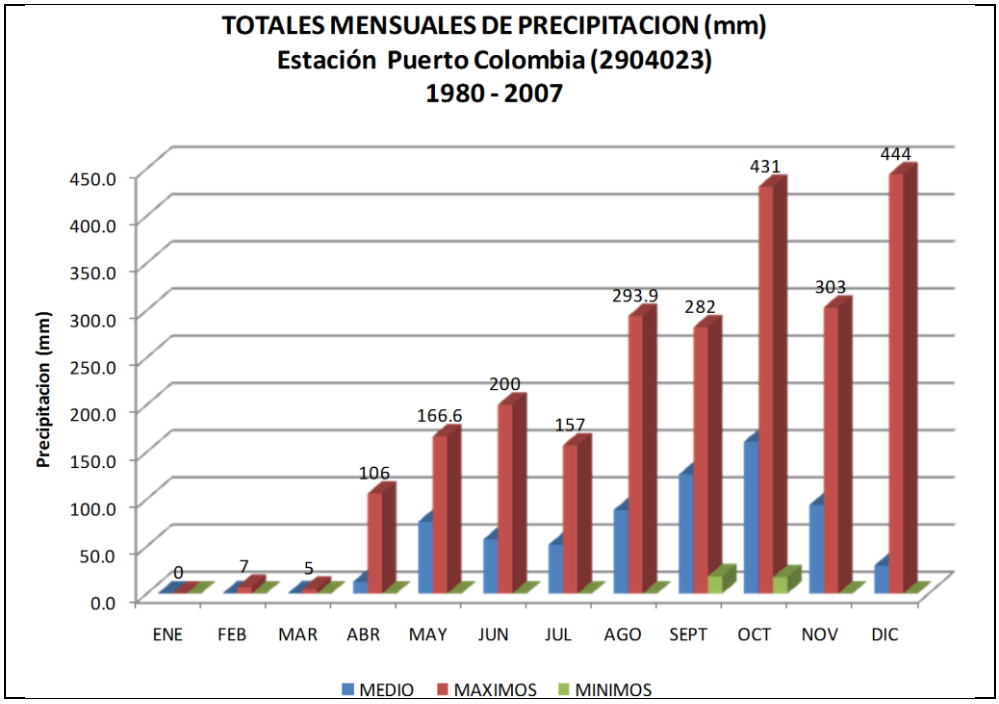



***Figura 3. 15*** *Hietograma Totales Mensuales Estación Puerto Colombia*

Si bien se adquirieron los registros de más de 30 años, se emplearon las series homogéneas desde 1980 a 2008 para los análisis siguientes. Los meses de septiembre y octubre son los meses de mayores precipitaciones. No obstante lo anterior, se observa que los valores máximos de lluvia se mantienen en valores similares durante todo el periodo lluvioso.

La precipitación media en la estación Ernesto Cortissoz es mayor que la precipitación de las estaciones Las Flores y Pto Colombia en 199 y 180 mm respectivamente. La precipitación en la zona de estudio podría considerarse promedio entre las tres estaciones, pues su localización geográfica es casi el centro de la triangulación, es decir 751 mm al año aproximadamente.

Los valores máximos mensuales están entre los 262 mm y 400 mm. En promedio los valores máximos son del orden de 395 mm en la zona. Los valores promedio de precipitación máxima en 24 horas se encuentran entre 26 y 30 mm, mientras que los máximos alcanzan valores entre 118 y 162 mm. Comparativamente puede decirse que las precipitaciones máximas en 24 horas son en magnitud casi una 5 o 6 parte de la lluvia total anual, es decir son de alta magnitud. Así mismo, en magnitud pueden representar casi una tercera parte del valor máximo mensual registrado (ver Tabla 3. 3), mientras que los hietogramas de máximos en 24h, se presentan en la Figura 3. 16 a la Figura 3. 18


C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

***Tabla 3. 3*** *Valores de Precipitación Máxima Mensual*

ESTACION LAS FLORES
2904512
MAXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACION EN 24 HORAS

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DIC | VR ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MEDIO | 0.9 | 1.5 | 0.6 | 7.5 | 51.9 | 36.2 | 22.6 | 52.0 | 64.2 | 65.1 | 43.1 | 26.9 | 31.0 |
| MAXIMOS | 16.5 | 18.7 | 6.3 | 42 | 105.6 | 79.5 | 77 | 100.1 | 121 | 151.3 | 88.2 | 99.5 | 151.3 |
| MINIMOS | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.2 | 0.5 | 0 | 2.8 | 7.9 | 8.5 | 0 | 0 | 0 |

ESTACION APTO ERNESTO CORTISSOZ
2904502
MAXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACION EN 24 HORAS

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DIC | VR ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MEDIO | 1.2 | 0.5 | 1.1 | 17.9 | 44.2 | 34.6 | 40.9 | 39.2 | 46.6 | 51.3 | 32.5 | 22.6 | 27.7 |
| MAXIMOS | 20.4 | 6.2 | 11.5 | 56.9 | 96.7 | 87.6 | 100.6 | 80.7 | 77.2 | 103.5 | 76 | 118.4 | 118.4 |
| MINIMOS | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.7 | 1.1 | 5.4 | 11.3 | 15.9 | 3.6 | 0 | 0 |

ESTACION PTO COLOMBIA
2904023
MAXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACION EN 24 HORAS

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DIC | VR ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MEDIO | 0.0 | 0.4 | 0.4 | 9.3 | 32.0 | 33.2 | 34.6 | 38.7 | 51.7 | 62.5 | 39.9 | 17.0 | 26.6 |
| MAXIMOS | 0 | 7 | 5 | 49 | 70 | 100.8 | 80 | 147.5 | 143 | 162.5 | 120 | 148 | 162.5 |
| MINIMOS | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 16.7 | 0 | 0 | 0 |

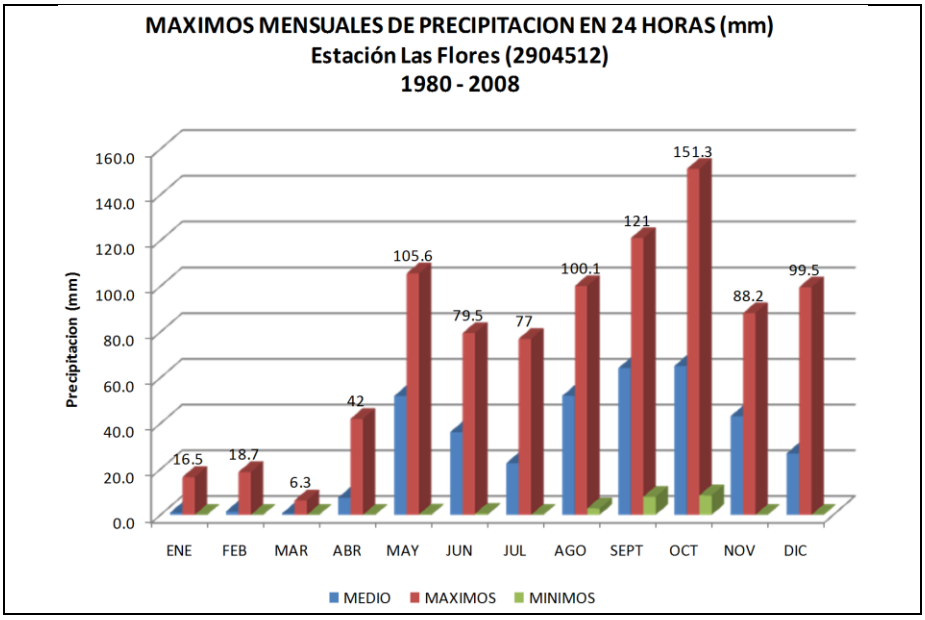



***Figura 3. 16*** *Hietograma Máxima 24h Estación Las Flores*



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

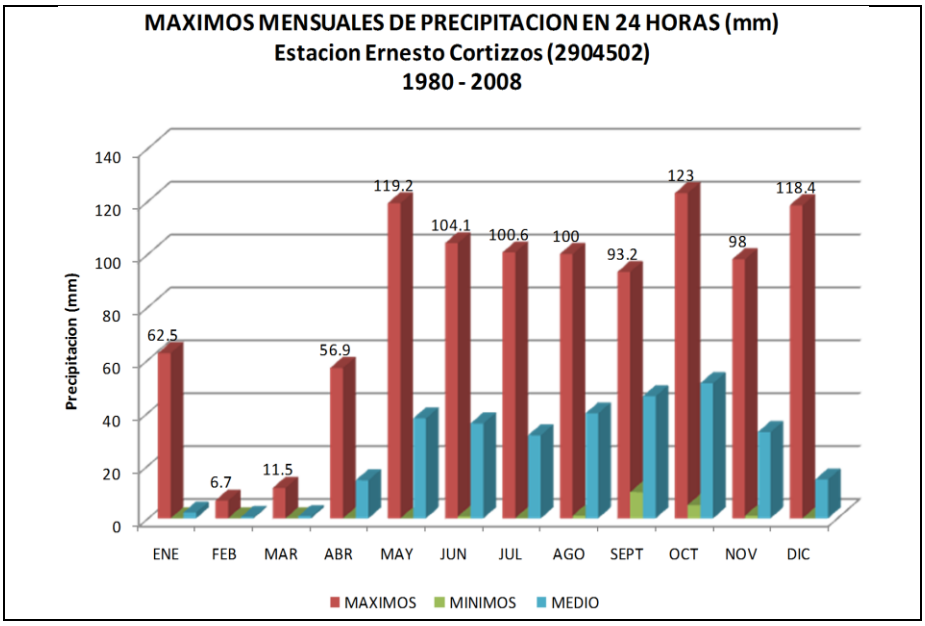



***Figura 3. 17*** *Hietograma Máxima 24h Estación Ernesto Cortizzos*

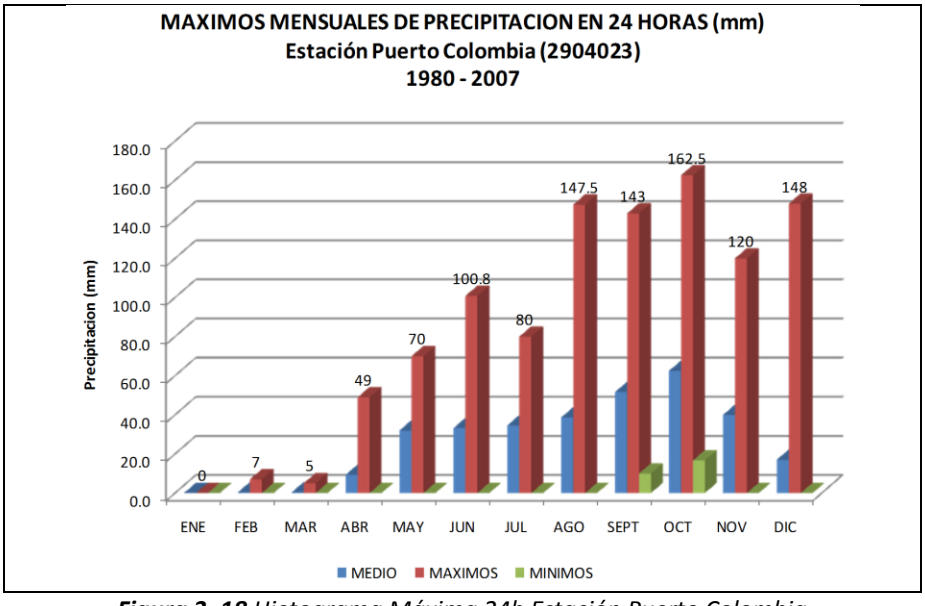



***Figura 3. 18*** *Hietograma Máxima 24h Estación Puerto Colombia*



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

### 3.5.4. Curvas IDF

Generalmente las lluvias se consideran uno de los aspectos más influyentes en la estabilidad de las laderas al punto de definirlas como factor detonante, bien sea por causa de un volumen acumulado en largos periodos de tiempo o por su intensidad, comúnmente asociada a cortas duraciones.

Es por esta razón que en los estudios de estabilidad se debe considerar el evento de lluvia dentro de los detonantes de movimientos en masa. De otro lado, las lluvias de corta duración y elevado volumen resultan ser críticas a la hora de realizar un análisis de este tipo dado que esta combinación incrementa las presiones de poros en los suelos de forma exagerada, debilitándolos de forma casi instantánea contribuyendo así con su falla.

Para el análisis de las lluvias de corta duración se debe recurrir a la obtención de las denominadas Curvas IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia), las cuales son de uso fundamental en los diseños de obras hidráulicas. La principal limitante en su construcción radica en la existencia de registros continuos de lluvia en el tiempo los cuales son generados por estaciones de tipo pluviográfico (PG), y que demandan grandes recursos en operación y procesamiento, razón por la cual su número en una red es limitado.

Como se mencionó anteriormente, las curvas IDF se obtienen a partir de registros pluviográficos donde cada evento de lluvia entra a formar parte de la historia de registro de la estación y es por ello que las curvas ya construidas pueden variar en el tiempo, más aún si eventos extraordinarios de lluvia son registrados.

En el marco regional del análisis inicialmente efectuado acerca de la precipitación posible del barrio objeto de este estudio, se puede apreciar que la estación más cercana es Las Flores ya que se encuentra en un radio no mayor a 5 km mientras que para las dos estaciones restantes se encuentra en distancia entre 12 y 15 km.

En éste caso, consultada la información de referencia, existen curvas IDF para dicha estación. Así mismo, la estación Ernesto Cortissoz del IDEAM posee curvas IDF elaboradas. No obstante lo anterior, para los objetivos de este estudio y dados los recursos con que se cuenta, se han adoptado las curvas referidas y para la estación Puerto Colombia se han elaborado y calibrado las curvas por métodos sintéticos.

Existen sin embargo diferentes metodologías para la obtención de curvas IDF que permiten suplir la carencia de los registros pluviográficos de la precipitación mediante la utilización de los



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

registros de precipitación máxima en 24 horas, siendo posible elaborar las curvas por ejemplo en estaciones de tipo pluviométrico (PM).

La validación de estas metodologías depende en gran medida del tipo de eventos que se presenten en la zona en comparación con los que fueron base para su construcción. Por esta razón, en el presente estudio se elaboró un ejercicio previo de comparación e ilustración sobre los resultados de generar curvas por dos métodos: Bell (1969) (método tradicional calibrado con las curvas oficiales del IDEAM) y el método tradicional empleado en los estudios de Transmetro para la ciudad de Barranquilla. A continuación se presentan las curvas las referidas obtenidas del estudio de Transmetro[7] (Figura 3. 19 - Figura 3. 21) y las obtenidas mediante el método de Bell (Figura 3. 20 - Figura 3. 22 - Figura 3. 23).

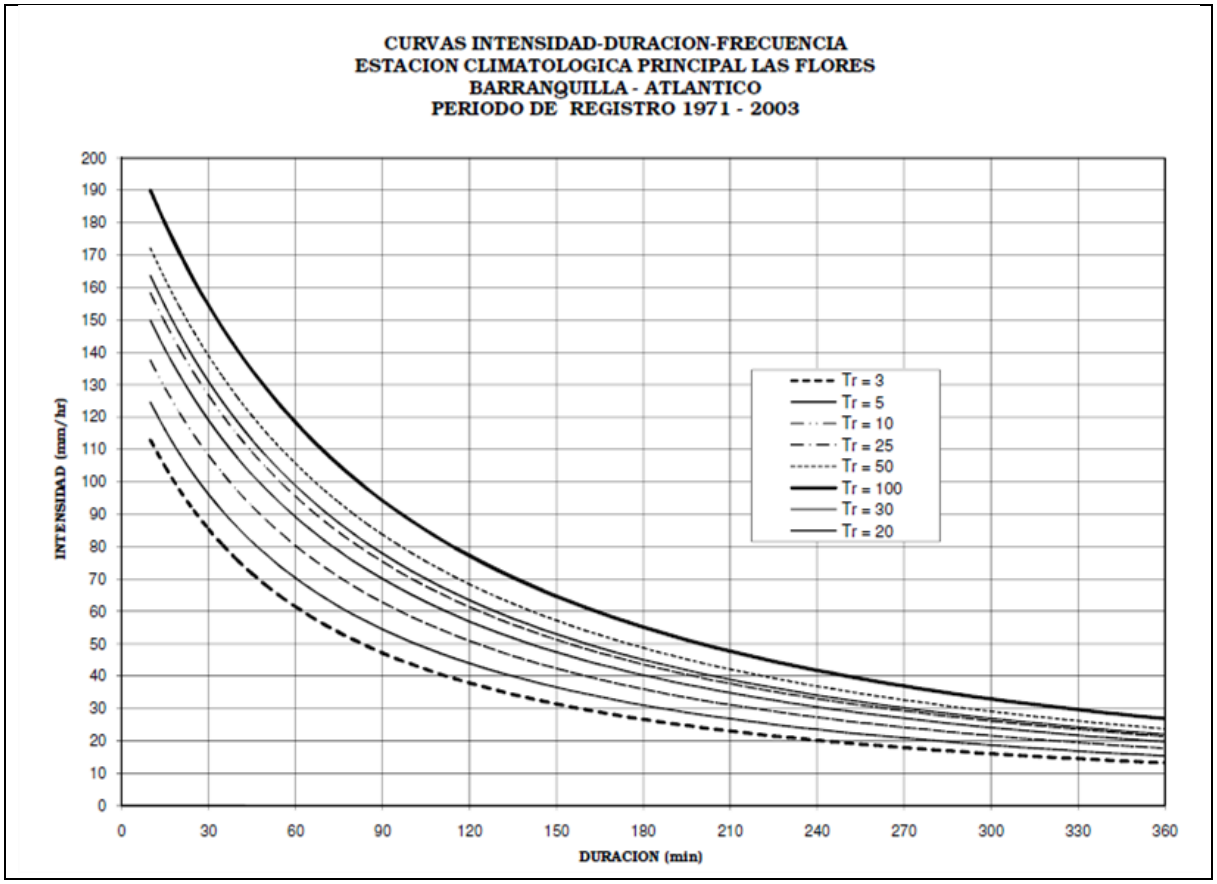



***Figura 3. 19*** *Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia obtenidas del estudio Transmetro, Estación Las Flores*

[7] Estudios y Diseños definitivos de Ingeniería para Puentes, Pasos a Desnivel y Soluciones Puntuales en las Intersecciones de las Troncales con los Arroyos del Sistema Integral de Transporte Masivo de Barranquilla y su Área Metropolitana (Fase I). TRANSMETRO S. A. Consorcio TMB.



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

***Tabla 3. 4*** *Intensidades máximas 10-180 min, Estación Las Flores*

CURVAS DE INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCUA
ESTACION LAS FLORES
2904512

| | | | |
|---|---|---|---|
| Pmax 24h: | 88.06 | mm | Promedio de las maximas anuales |
| Smax 24h: | 30.75 | mm | Desviación estandar de la serie |
| Relacion Cp: | 0.8 | | Reclaion entre horaria y diaria |

| Periodo de Retorno TR (años) | Intensidades máximas en mm/hora para duraciones entre 10 y 180 minutos | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 | 120 | 180 |
| 2 | 126.6 | 102.9 | 88.9 | 66.8 | 55.7 | 48.7 | 40.2 |
| 5 | 177.4 | 144.2 | 124.5 | 93.6 | 78.1 | 68.0 | 56.3 |
| 10 | 211.0 | 171.6 | 148.2 | 111.4 | 92.8 | 81.2 | 66.9 |
| 25 | 253.5 | 206.1 | 178.0 | 133.8 | 111.5 | 97.6 | 80.4 |
| 50 | 285.0 | 231.7 | 200.1 | 150.4 | 125.4 | 109.7 | 90.4 |
| 100 | 316.3 | 257.2 | 222.1 | 166.9 | 139.2 | 121.8 | 100.3 |

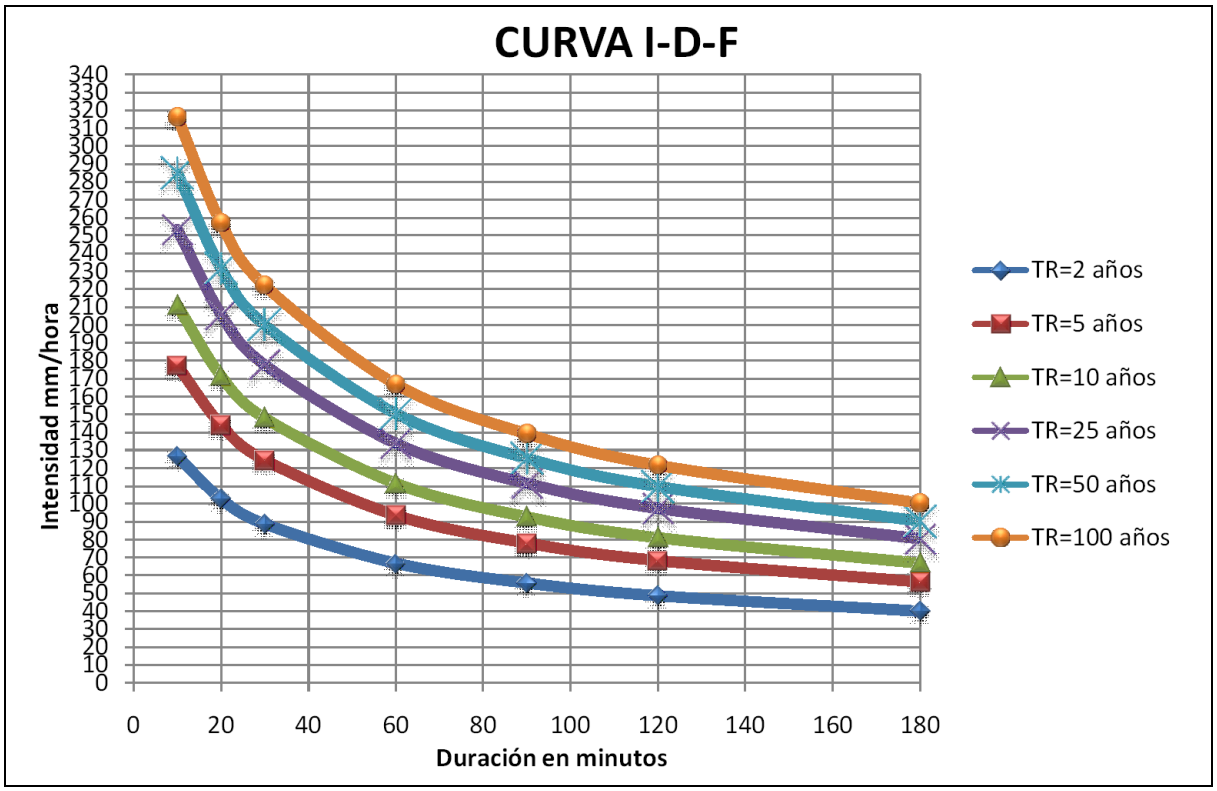



***Figura 3. 20*** *Intensidad-Duración-Frecuencia obtenidas por el Método de Bell, Estación Las Flores*

***Tabla 3. 5*** *Intensidades máximas 10-180 min, Estación Ernesto Cortissoz*



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

**CURVAS DE INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA**
**ESTACION APTO ERNESTO CORTISSOZ**
**2904502**

| | | |
|---|---|---|
| Pmax 24h: | 79.38 mm | Promedio de las máximas anuales |
| Smax 24 horas: | 16.64 mm | Desviación standard de la serie. |
| Relación Cp: | 0.80 | Relación entre horaria y diaria. |

| Periodo de Retorno TR (años) | Intensidades máximas en mm/hora para duraciones entre 10 y 180 minutos | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 | 120 | 180 |
| 2 | 116.6 | 94.8 | 81.9 | 61.5 | 51.3 | 44.9 | 37.0 |
| 5 | 144.1 | 117.2 | 101.2 | 76.1 | 63.4 | 55.5 | 45.7 |
| 10 | 162.3 | 132.0 | 114.0 | 85.7 | 71.4 | 62.5 | 51.5 |
| 25 | 185.3 | 150.7 | 130.1 | 97.8 | 81.5 | 71.3 | 58.8 |
| 50 | 202.3 | 164.5 | 142.1 | 106.8 | 89.0 | 77.9 | 64.2 |
| 100 | 219.3 | 178.3 | 154.0 | 115.7 | 96.5 | 84.4 | 69.6 |

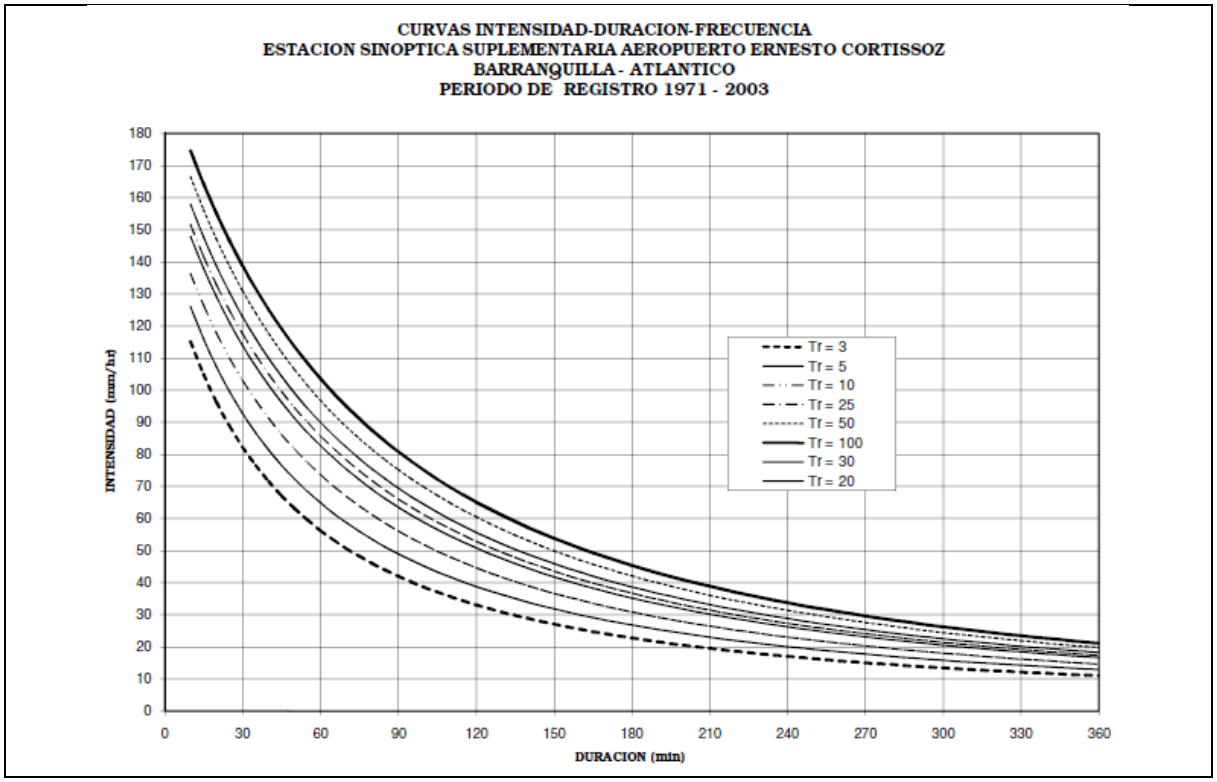



***Figura 3. 21*** *Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia obtenidas del estudio Transmetro, Estación Ernesto Cotrissoz*



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

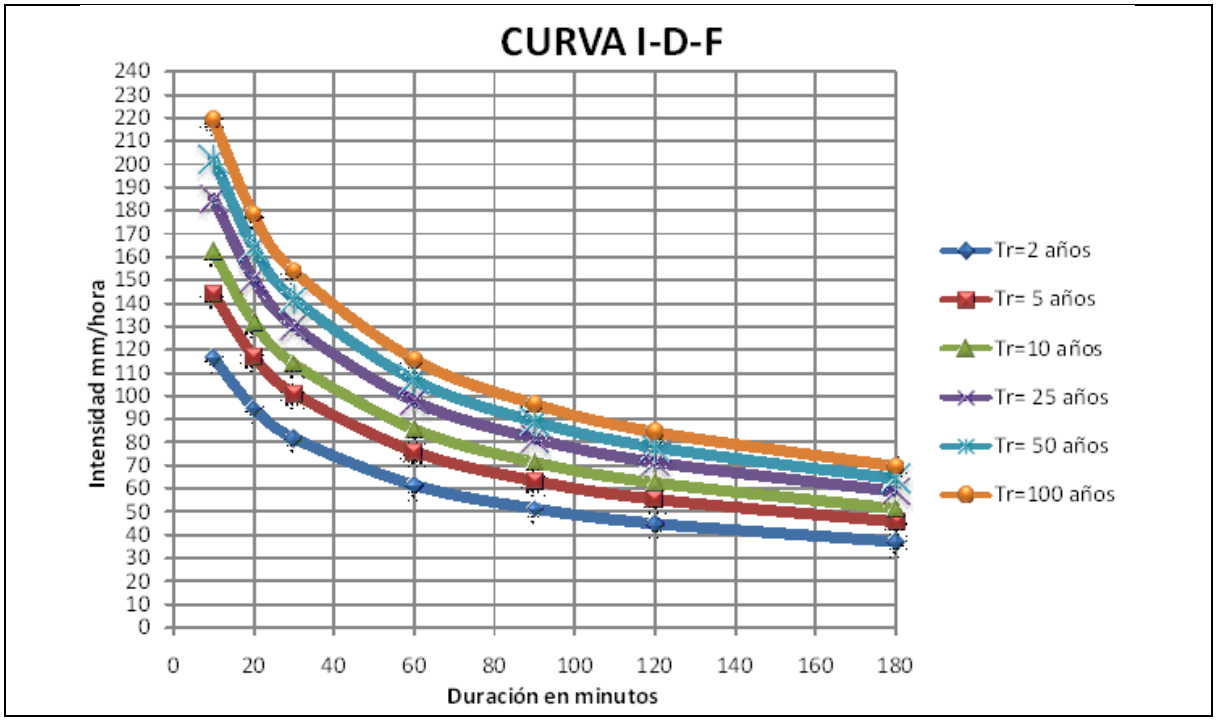



***Figura 3. 22*** *Intensidad-Duración-Frecuencia obtenidas por el Método de Bell, Estación Ernesto Cortizzos*

***Tabla 3. 6*** *Intensidades máximas 10-180 min, Estación Ernesto Cortissoz*

**CURVAS DE INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA**
**ESTACION PTO COLOMBIA**
**2904023**

| | | |
|---|---|---|
| Pmax 24h: | 87.92 mm | Promedio de las máximas anuales |
| Smax 24 horas: | 33.56 mm | Desviación standard de la serie. |
| Relación Cp: | 0.80 | Relación entre horaria y diaria. |

| Periodo de Retorno TR (años) | Intensidades máximas en mm/hora para duraciones entre 10 y 180 minutos | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 | 120 | 180 |
| 2 | 125.7 | 102.3 | 88.3 | 66.4 | 55.3 | 48.4 | 39.9 |
| 5 | 181.2 | 147.3 | 127.2 | 95.6 | 79.7 | 69.7 | 57.5 |
| 10 | 217.9 | 177.2 | 153.0 | 115.0 | 95.9 | 83.9 | 69.1 |
| 25 | 264.2 | 214.9 | 185.5 | 139.5 | 116.3 | 101.7 | 83.8 |
| 50 | 298.6 | 242.8 | 209.7 | 157.6 | 131.4 | 115.0 | 94.7 |
| 100 | 332.8 | 270.6 | 233.7 | 175.7 | 146.4 | 128.1 | 105.6 |



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

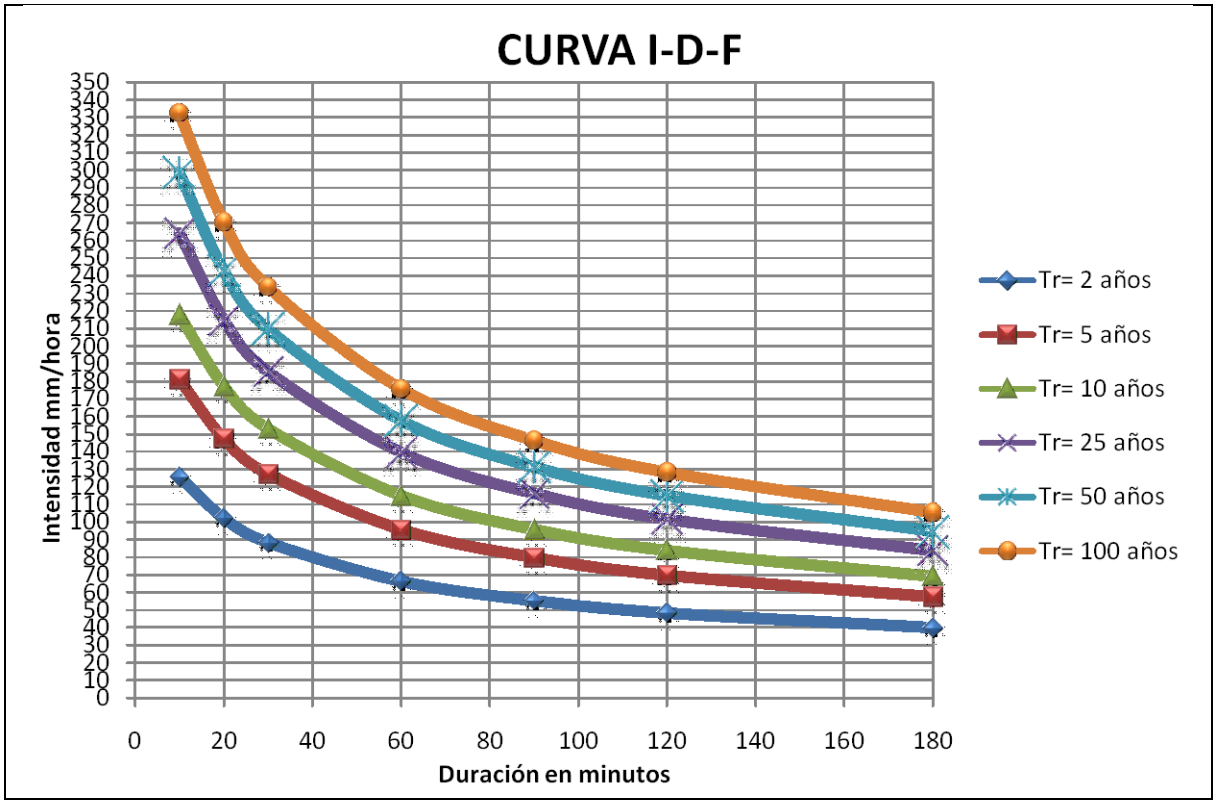



***Figura 3. 23*** *Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia obtenidas por el Método de Bell, Estación Puerto Colombia*

## 3.6. ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Conforme se ha observado en las visitas a campo realizadas y los aspectos geológicos y geotécnicos mencionados en éste capítulo, es evidente que el agua es un factor contribuyente en el avance del movimiento en masa que se presenta en el sector.

Como se refiere en diferentes estudios realizados, son requeridas obras de drenaje para mitigar los efectos del movimiento, el cual por sus características es de gran extensión si se habla de control de drenaje, dada la implicación de posible afectación de la zona urbana existente en el sector. El actual uso del suelo en el contorno de la ladera sin duda aumenta los volúmenes de escorrentía superficial y reduce los de infiltración, cambiando las condiciones naturales del suelo y si comportamiento habitual.

A manera ilustrativa se presenta el mapa escala 1:100.000 del IGAC para el sector, donde se observa que este drenaje natural hace parte de la cuenca del Arroyo Hondo, el cual desemboca al norte en el Océano Atlántico, en el corregimiento Eduardo Santos al occidente de la Ciénaga de Mallorquín (ver Figura 3. 24).



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

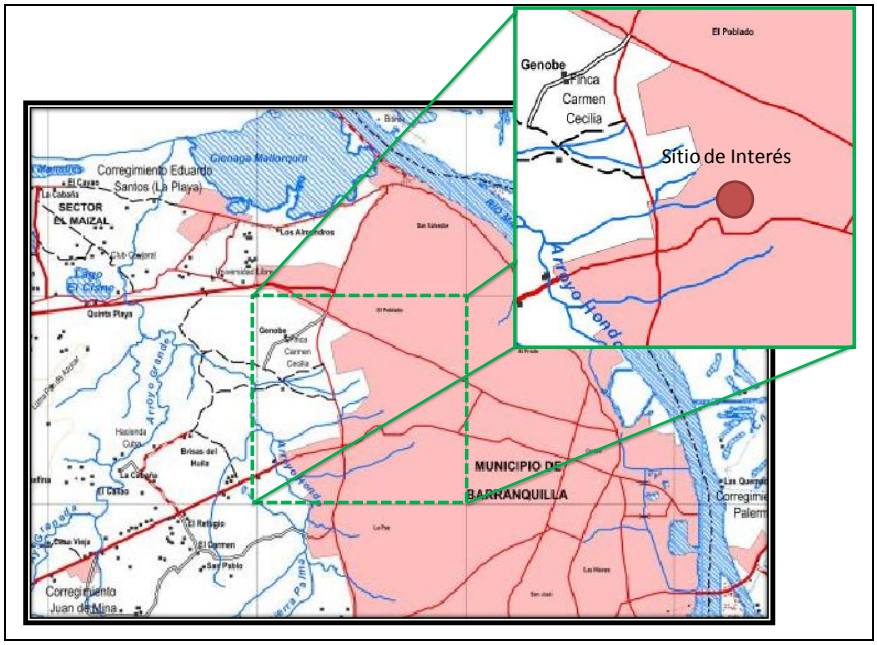



***Figura 3. 24*** *Mapa a escala 1:100000 IGAC zona de estudio, cuenca Arroyo Hondo*

No es frecuente ni permanente el flujo de agua por la superficie de la ladera. El mismo se origina con los eventos de lluvia y las aguas de infiltración natural. Por ésta razón, los presentes diseños se orientan al control y manejo de la escorrentía superficial bajo la premisa de que por sí mismas no son suficientes para el control total del movimiento y se constituyen en un complemento de los diseños de estabilización geotécnica para la ladera.

Dado que no se cuenta con un dato de caudal natural superficial pues el mismo es intermitente y no registrado, y teniendo en cuenta que deberá darse manejo a la escorrentía producida principalmente por el desarrollo urbanístico residencial de la parte alta de la ladera (coeficiente de escorrentía tendiente a uno), es necesario plantear obras de manejo de dichas aguas.

Para estimar los caudales de escorrentía a captar, se emplea dentro del análisis hidrológico el Método Racional (Chow, 1960) dado que se aplica en cuencas homogéneas pequeñas, naturales o urbanas, y preferiblemente en extensiones menores a las 10 hectáreas.

Se representa con la siguiente expresión dimensional:

$$Q = \frac{C * I * A}{3.6}$$

Donde

Q= Es el caudal pico de la escorrentía que se genera a la salida de una cuenca o área vertiente en $m^3/s$



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

A = Es el área que concentra la escorrentía en $km^2$

I = Es la intensidad considerada constante en mm/h que tiene el aguacero de duración igual al tiempo de concentración de la cuenca.

C = Es el coeficiente de escorrentía; su valor está comprendido entre cero y uno, y depende de la morfometría de la cuenca y de su cobertura.

La asignación de valores apropiados al coeficiente de escorrentía es subjetiva porque, aun cuando existen tablas y recomendaciones generales, la experiencia y criterio de su selección a partir de la experiencia es determinante.

La intensidad del aguacero por su parte, es fundamental en los volúmenes resultantes y por ello se realizó el análisis de la sección anterior para su conocimiento y selección. No obstante lo anterior, fue consultado el informe realizado sobre la cobertura y uso del sector cuyo enfoque es más de tipo prospectivo, por lo cual no se tiene un cambio de las condiciones de análisis previo a las obras con el mismo.

La aplicación del Método Racional induce a sobreestimar los caudales de creciente y por esta razón, Silva (1995) no recomienda su uso en cuencas mayores de 1 $km^2$.

Teniendo en cuenta la cobertura actual del terreno, se estima que el coeficiente de escorrentía corresponde al recomendado para áreas urbanas y semiurbanas, es decir 0.95 a 1.0 pues la ocupación del terreno presente en la zona alta de la ladera es la que alimenta el drenaje superficial, siendo la fuente donde se genera la escorrentía los tejados, vías y demás zonas duras (ver Tabla 3. 7).

Dada la pequeña extensión de las áreas vertientes en análisis asemejadas a cuencas de drenaje y su pendiente longitudinal, los tiempos de concentración son reducidos. No obstante lo anterior y a fin de demostrar ésta condición del terreno, se calculan los tiempos de concentración correspondientes por diferentes métodos y de ésta forma se establece su valor.



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

***Tabla 3. 7*** *Coeficientes de escorrentía*

| Type of Drainage Area | Runoff Coefficient C* | | |
|---|---|---|---|
| **Business:** | | | |
| **Downtown areas** | **0.7** | **-** | **0.95** |
| **Neighborhood areas** | **0.5** | **-** | **0.7** |
| **Residencial** | | | |
| **Sigle-family areas** | **0.3** | **-** | **0.5** |
| **Multi-units detached** | **0.4** | **-** | **0.6** |
| **Multi-units, attached** | **0.6** | **-** | **0.75** |
| **Suburban** | **0.25** | **-** | **0.4** |
| **Apartment dwelling areas** | **0.5** | **-** | **0.7** |
| **Industrial** | | | |
| **Light areas** | **0.5** | **-** | **0.8** |
| **Heavy areas** | **0.6** | **-** | **0.9** |
| **Parks, cementeries** | **0.1** | **-** | **0.25** |
| **Playgrounds** | **0.2** | **-** | **0.4** |
| **Railroad yard areas** | **0.1** | **-** | **0.3** |
| **Lawns** | | | |
| **Sandy soil, flat 2%** | **0.05** | **-** | **0.1** |
| **Sandy soil, average, 2 - 7%** | **0.1** | **-** | **0.15** |
| **Sandy soil, steep, 7%** | **0.15** | **-** | **0.2** |
| **Heavy soil, flat, 2%** | **0.13** | **-** | **0.17** |
| **Heavy soil, average 2 - 7%** | **0.18** | **-** | **0.22** |
| **Heavy soil, steep, 7%** | **0.25** | **-** | **0.35** |
| **Streets** | | | |
| **Asphaltic** | **0.7** | **-** | **0.95** |
| **Concrete** | **0.8** | **-** | **0.95** |
| **Brick** | **0.7** | **-** | **0.85** |
| **Drives and walks** | **0.75** | **-** | **0.85** |
| **Roofs** | **0.75** | **-** | **0.95** |

*Higher values are usually appropiate for steeply sloped areas and longer returs periods because infiltration and other losses have proportionally smaller effect ruoff in these cases.



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

***Tabla 3. 8*** *Tiempo de concentración Área de drenaje hacia la ladera*

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Subcuenca:** | | | |
| Área de drenaje Incidencia Directa Zona Carrera 38 | | | |
| | | | |
| Subcuenca: | 1 | | |
| **Datos generales:** | | | |
| Longitud del cauce principal | 583.1474 | m | |
| Área de la cuenca | 9.20 | Ha | |
| Cota i | 124.698 | m | |
| Cota f | 47.5 | m | |
| Pendiente promedio So | 0.13 | m/m | |
| Témez (1978) | Tc= | | |
| Soil Conservation Service | Tc= | | |
| Kirpich (Llamas 1985) | Tc= | | |
| Kirpich (1940) | Tc= | 5.72018977 | |
| Ramser (1927) | Tc= | 5.86332711 | |
| Johnstone y Cross (1949) | Tc= | 6.83795753 | |
| California Culverts Practice (1942) | Tc= | 5.72331731 | |
| Bransby Williams (1) | Tc= | | |
| Bransby Williams (2) | Tc= | | |
| Federal Aviation Administration | Tc= | | |
| Passini | Tc= | 6.71730055 | |
| Hathaway | Tc= | | |
| Tiempo de Concentración (Tc) = | 6.17 | min | |
| Menor tiempo de Concentración (Tc)= | 5.72 | min | |

Como se observa, el tiempo de concentración varía entre 5 y 8 minutos, luego las intensidades máximas de precipitación conforme las curvas IDF serán:

***Tabla 3. 9*** *Intensidades máximas de precipitación*

| CODIGO | NOMBRE ESTACION | Intensidad en 10 minutos para TR | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| 2904512 | LAS FLORES | 119.60 | 169.80 | 205.40 | 247.30 | 278.50 | 308.80 |
| 2904502 | APTO ERNESTO CORTIZZOS | 112.30 | 142.50 | 159.50 | 181.40 | 196.40 | 217.60 |
| 2904023 | PTO COLOMBIA | 128.30 | 181.20 | 216.50 | 259.70 | 299.20 | 331.20 |
| | ***Intensidades Promedio mm/hora*** | ***120.07*** | ***164.50*** | ***193.80*** | ***229.47*** | ***258.03*** | ***285.87*** |

Con los anteriores valores y aplicando el Método Racional se obtienen los caudales máximos para los diferentes periodos de recurrencia de los aguaceros que producen a su vez los picos de escorrentía. Analizando la información topográfica, geológica y cobertura vegetal, escarpes tanto al norte como al suroccidente de la ladera, pero una considerable cobertura vegetal en la parte



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

baja de la zona. El constante flujo de escorrentía superficial sobre estos puede eventualmente reactivar el proceso y afectar de una forma más severa las edificaciones ubicadas en el sector

### 3.6.1. Manejo de Aguas Superficiales

Debido a lo presentado anteriormente, se plantea para el manejo de las aguas de escorrentía, un eje principal a lo largo del cauce principal, y en cada una de las bermas generadas en el movimiento de tierras, canales a manera de espina de pescado que recolecte las aguas producto de la depresión ocasionada en el terreno por el movimiento en masa. Se piensa derivar la escorrentía superficial tanto al norte de la ladera como al suroccidente de esta.

El canal principal será un canal en gaviones, mientras que los canales de las bermas, serán canales en concreto, con pendientes pequeñas, y en la via que se propone rehabilitar, se proponen cunetas de sección triangular que conducen el agua de escorrentía hacia los sectores suroriental de la zona, para seguir conduciendo el agua en el canal perimetral, y hacia el canal principal en gaviones.

En el punto donde se cruza la via, el canal en gaviones se continuara con un Box Culvert para volver a ser el mismo canal en gaviones bajo la via. En la parte baja del deslizamiento se propone una estructura de aquietamiento donde se recolecte toda el agua de escorrentía recolectada.

Es importante hacer la anotación que debido al alto grado de saturación del suelo, el control de aguas subterráneas será importante, y en diversos puntos a lo largo del canal principal se proponen salidas de tuberías subterráneas para extraer el agua recolectada a profundidad, lo que aumenta el caudal que fluirá por dicho canal.

El área de influencia del drenaje del terreno terraceado se dividió en 14 subcuencas vertientes, las subcuencas 1 a 7 cubren el drenaje de la parte alta de la ladera y vierten hacia el canal central, mientras que las otras cuencas, drenan igualmente hacia el canal central, pero conducen el agua en la parte baja de la via. Las áreas de las subcuencas se presentan en la Tabla 3.10 y las subcuencas se presentan en la Figura 3.25.



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

***Tabla 3. 10*** *Áreas de subcuencas vertientes*

| SUBCUENCA | ÁREA [Ha] | SUBCUENCA | ÁREA [Ha] |
|---|---|---|---|
| 1 | 2.08 | 8 | 11.86 |
| 2 | 0.75 | 9 | 8.04 |
| 3 | 3.71 | 10 | 5.54 |
| 4 | 4.08 | 11 | 6.87 |
| 5 | 6.50 | 12 | 6.73 |
| 6 | 10.45 | 13 | 8.76 |
| 7 | 7.18 | 14 | 9.21 |

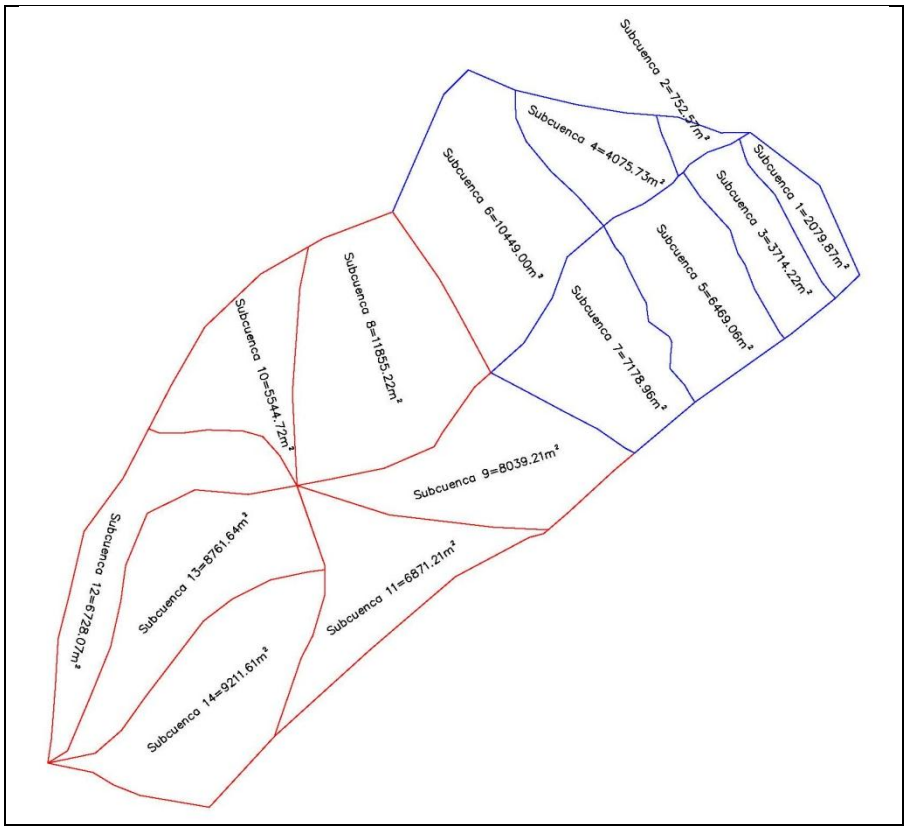



***Figura 3. 25*** *División del área en subcuencas*

Como se ilustra en la Figura 3. 26, estos flujos de escorrentía corresponden a la vertiente de margen derecha del denominado Arroyo Hondo. Esta propuesta se encamina a reducir el volumen aportado por el tributario natural de la ladera en intervención derivando parte de su caudal a un tributario aguas abajo cuyo nacimiento natural está muy próximo y cuyo cauce lo constituyen vías pavimentadas construidas de manera coherente con la geomorfología del terreno natural. (Carrera 41 D, vía que conduce al por el occidente al conjunto residencial Ciudad del Sol 1).


C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

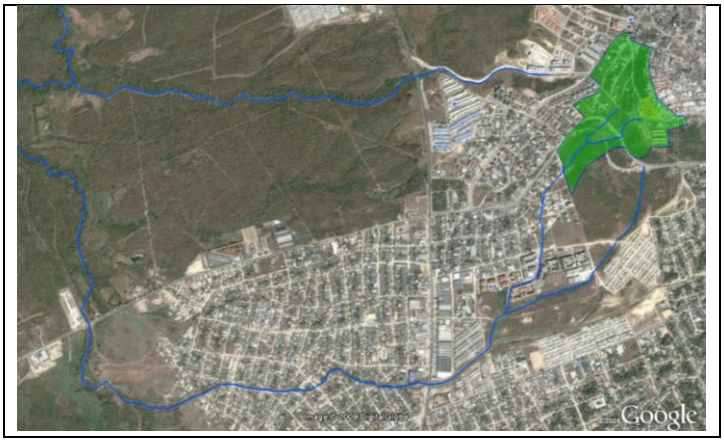



***Figura 3. 26*** *Entrega de aguas recogidas al tributario*

En la Tabla 3. 11 a Tabla 3. 24 se presentan los cálculos de los caudales pico en metros cúbicos por segundo correspondientes a cada uno de los periodos de retorno entre 2 y 100 años para una lluvia de duración de 10 minutos en cada una de las 14 subcuencas vertientes mencionadas.

***Tabla 3. 11*** *Caudal máximo recogido para la subcuenca 1*

| CODIGO | NOMBRE ESTACION | Caudales para TR [m³/s] (Subcuenca 1) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| 2904512 | LAS FLORES | 0.07 | 0.10 | 0.12 | 0.14 | 0.16 | 0.18 |
| 2904502 | APTO ERNESTO CORTIZZOS | 0.06 | 0.08 | 0.09 | 0.10 | 0.11 | 0.13 |
| 2904023 | PTO COLOMBIA | 0.07 | 0.10 | 0.13 | 0.15 | 0.17 | 0.19 |
| | ***Caudales promedio m³/s*** | ***0.07*** | ***0.10*** | ***0.11*** | ***0.13*** | ***0.15*** | ***0.17*** |

Área [m²]= 2079.87 c = 0.1

***Tabla 3. 12*** *Caudal máximo recogido para la subcuenca 2*

| CODIGO | NOMBRE ESTACION | Caudales para TR [m³/s] (Subcuenca 2) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| 2904512 | LAS FLORES | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.06 |
| 2904502 | APTO ERNESTO CORTIZZOS | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.05 |
| 2904023 | PTO COLOMBIA | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.07 |
| | ***Caudales promedio m³/s*** | ***0.03*** | ***0.03*** | ***0.04*** | ***0.05*** | ***0.05*** | ***0.06*** |

Área [m²]= 752.57 c = 0.1

***Tabla 3. 13*** *Caudal máximo recogido para la subcuenca 3*

| CODIGO | NOMBRE ESTACION | Caudales para TR [m³/s] (Subcuenca 3) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| 2904512 | LAS FLORES | 0.12 | 0.18 | 0.21 | 0.26 | 0.29 | 0.32 |
| 2904502 | APTO ERNESTO CORTIZZOS | 0.12 | 0.15 | 0.16 | 0.19 | 0.20 | 0.22 |
| 2904023 | PTO COLOMBIA | 0.13 | 0.19 | 0.22 | 0.27 | 0.31 | 0.34 |
| | ***Caudales promedio m³/s*** | ***0.12*** | ***0.17*** | ***0.20*** | ***0.24*** | ***0.27*** | ***0.29*** |

Área [m²]= 3714.22 c = 0.1



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

***Tabla 3. 14*** *Caudal máximo recogido para la subcuenca 4*

| CODIGO | NOMBRE ESTACION | Caudales para TR [m³/s] (Subcuenca 4) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| 2904512 | LAS FLORES | 0.14 | 0.19 | 0.23 | 0.28 | 0.32 | 0.35 |
| 2904502 | APTO ERNESTO CORTIZZOS | 0.13 | 0.16 | 0.18 | 0.21 | 0.22 | 0.25 |
| 2904023 | PTO COLOMBIA | 0.15 | 0.21 | 0.25 | 0.29 | 0.34 | 0.37 |
| | ***Caudales promedio m³/s*** | ***0.14*** | ***0.19*** | ***0.22*** | ***0.26*** | ***0.29*** | ***0.32*** |

Área [m²]= 4075.73 c = 0.1

***Tabla 3. 15*** *Caudal máximo recogido para la subcuenca 5*

| CODIGO | NOMBRE ESTACION | Caudales para TR [m³/s] (Subcuenca 5) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| 2904512 | LAS FLORES | 0.22 | 0.31 | 0.37 | 0.45 | 0.50 | 0.56 |
| 2904502 | APTO ERNESTO CORTIZZOS | 0.20 | 0.26 | 0.29 | 0.33 | 0.35 | 0.39 |
| 2904023 | PTO COLOMBIA | 0.23 | 0.33 | 0.39 | 0.47 | 0.54 | 0.60 |
| | ***Caudales promedio m³/s*** | ***0.22*** | ***0.30*** | ***0.35*** | ***0.41*** | ***0.47*** | ***0.52*** |

Área [m²]= 6496.06 c = 0.1

***Tabla 3. 16*** *Caudal máximo recogido para la subcuenca 6*

| CODIGO | NOMBRE ESTACION | Caudales para TR [m³/s] (Subcuenca 6) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| 2904512 | LAS FLORES | 0.35 | 0.49 | 0.60 | 0.72 | 0.81 | 0.90 |
| 2904502 | APTO ERNESTO CORTIZZOS | 0.33 | 0.41 | 0.46 | 0.53 | 0.57 | 0.63 |
| 2904023 | PTO COLOMBIA | 0.37 | 0.53 | 0.63 | 0.75 | 0.87 | 0.96 |
| | ***Caudales promedio m³/s*** | ***0.35*** | ***0.48*** | ***0.56*** | ***0.67*** | ***0.75*** | ***0.83*** |

Área [m²]= 10449.00 c = 0.1

***Tabla 3. 17*** *Caudal máximo recogido para la subcuenca 7*

| CODIGO | NOMBRE ESTACION | Caudales para TR [m³/s] (Subcuenca 7) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| 2904512 | LAS FLORES | 0.24 | 0.34 | 0.41 | 0.49 | 0.56 | 0.62 |
| 2904502 | APTO ERNESTO CORTIZZOS | 0.22 | 0.28 | 0.32 | 0.36 | 0.39 | 0.43 |
| 2904023 | PTO COLOMBIA | 0.26 | 0.36 | 0.43 | 0.52 | 0.60 | 0.66 |
| | ***Caudales promedio m³/s*** | ***0.24*** | ***0.33*** | ***0.39*** | ***0.46*** | ***0.51*** | ***0.57*** |

Área [m²]= 7178.96 c = 0.1

***Tabla 3. 18*** *Caudal máximo recogido para la subcuenca 8*

| CODIGO | NOMBRE ESTACION | Caudales para TR [m³/s] (Subcuenca 8) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| 2904512 | LAS FLORES | 0.39 | 0.56 | 0.68 | 0.81 | 0.92 | 1.02 |
| 2904502 | APTO ERNESTO CORTIZZOS | 0.37 | 0.47 | 0.53 | 0.60 | 0.65 | 0.72 |
| 2904023 | PTO COLOMBIA | 0.42 | 0.60 | 0.71 | 0.86 | 0.99 | 1.09 |
| | ***Caudales promedio m³/s*** | ***0.40*** | ***0.54*** | ***0.64*** | ***0.76*** | ***0.85*** | ***0.94*** |

Área [m²]= 11855.22 c = 0.1

***Tabla 3. 19*** *Caudal máximo recogido para la subcuenca 9*



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

| CODIGO | NOMBRE ESTACION | Caudales para TR [m³/s] (Subcuenca 9) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| 2904512 | LAS FLORES | 0.27 | 0.38 | 0.46 | 0.55 | 0.62 | 0.69 |
| 2904502 | APTO ERNESTO CORTIZZOS | 0.25 | 0.32 | 0.36 | 0.41 | 0.44 | 0.49 |
| 2904023 | PTO COLOMBIA | 0.29 | 0.40 | 0.48 | 0.58 | 0.67 | 0.74 |
| | ***Caudales promedio m³/s*** | ***0.27*** | ***0.37*** | ***0.43*** | ***0.51*** | ***0.58*** | ***0.64*** |

Área [m²]= 8039.21 c = 0.1

***Tabla 3. 20*** *Caudal máximo recogido para la subcuenca 10*

| CODIGO | NOMBRE ESTACION | Caudales para TR [m³/s] (Subcuenca 10) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| 2904512 | LAS FLORES | 0.18 | 0.26 | 0.32 | 0.38 | 0.43 | 0.48 |
| 2904502 | APTO ERNESTO CORTIZZOS | 0.17 | 0.22 | 0.25 | 0.28 | 0.30 | 0.34 |
| 2904023 | PTO COLOMBIA | 0.20 | 0.28 | 0.33 | 0.40 | 0.46 | 0.51 |
| | ***Caudales promedio m³/s*** | ***0.18*** | ***0.25*** | ***0.30*** | ***0.35*** | ***0.40*** | ***0.44*** |

Área [m²]= 5544.72 c = 0.15

***Tabla 3. 21*** *Caudal máximo recogido para la subcuenca 11*

| CODIGO | NOMBRE ESTACION | Caudales para TR [m³/s] (Subcuenca 11) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| 2904512 | LAS FLORES | 0.23 | 0.32 | 0.39 | 0.47 | 0.53 | 0.59 |
| 2904502 | APTO ERNESTO CORTIZZOS | 0.21 | 0.27 | 0.30 | 0.35 | 0.37 | 0.42 |
| 2904023 | PTO COLOMBIA | 0.24 | 0.35 | 0.41 | 0.50 | 0.57 | 0.63 |
| | ***Caudales promedio m³/s*** | ***0.23*** | ***0.31*** | ***0.37*** | ***0.44*** | ***0.49*** | ***0.55*** |

Área [m²]= 6871.21 c = 0.15

***Tabla 3. 22*** *Caudal máximo recogido para la subcuenca 12*

| CODIGO | NOMBRE ESTACION | Caudales para TR [m³/s] (Subcuenca 12) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| 2904512 | LAS FLORES | 0.22 | 0.32 | 0.38 | 0.46 | 0.52 | 0.58 |
| 2904502 | APTO ERNESTO CORTIZZOS | 0.21 | 0.27 | 0.30 | 0.34 | 0.37 | 0.41 |
| 2904023 | PTO COLOMBIA | 0.24 | 0.34 | 0.40 | 0.49 | 0.56 | 0.62 |
| | ***Caudales promedio m³/s*** | ***0.22*** | ***0.31*** | ***0.36*** | ***0.43*** | ***0.48*** | ***0.53*** |

Área [m²]= 6727.07 c = 0.1

***Tabla 3. 23*** *Caudal máximo recogido para la subcuenca 13*

| CODIGO | NOMBRE ESTACION | Caudales para TR [m³/s] (Subcuenca 13) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| 2904512 | LAS FLORES | 0.29 | 0.41 | 0.50 | 0.60 | 0.68 | 0.75 |
| 2904502 | APTO ERNESTO CORTIZZOS | 0.27 | 0.35 | 0.39 | 0.44 | 0.48 | 0.53 |
| 2904023 | PTO COLOMBIA | 0.31 | 0.44 | 0.53 | 0.63 | 0.73 | 0.81 |
| | ***Caudales promedio m³/s*** | ***0.29*** | ***0.40*** | ***0.47*** | ***0.56*** | ***0.63*** | ***0.70*** |

Área [m²]= 8761.64 c = 0.1

***Tabla 3. 24*** *Caudal máximo recogido para la subcuenca 14*



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

| CODIGO | NOMBRE ESTACION | Caudales para TR [m³/s] (Subcuenca 14) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| 2904512 | LAS FLORES | 0.31 | 0.43 | 0.53 | 0.63 | 0.71 | 0.79 |
| 2904502 | APTO ERNESTO CORTIZZOS | 0.29 | 0.36 | 0.41 | 0.46 | 0.50 | 0.56 |
| 2904023 | PTO COLOMBIA | 0.33 | 0.46 | 0.55 | 0.66 | 0.77 | 0.85 |
| | ***Caudales promedio m³/s*** | ***0.31*** | ***0.42*** | ***0.50*** | ***0.59*** | ***0.66*** | ***0.73*** |

Área [m²]= 9211.61 c = 0.1

Se destacan los valores máximos de caudales estimados para un periodo de retorno de 100 años como aquellos a considerar en el diseño, teniendo en cuenta la importancia de la solución a plantear dados los antecedentes en el territorio con respecto a la evolución del fenómeno.



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

# 4. EXPLORACIÓN Y ENSAYOS

## 4.1. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Con el fin de conocer en detalle el perfil estratigrafico del material aflorante en la zona se realizó la respectiva investigación del subsuelo mediante la ejecución de perforaciones mecanicas por rotacion en diametro HQ hasta una profundidad de 20 metros.

Dentro de la revisión de información secundaria recolectada se tuvo en cuenta las perforaciones y sondeos realizados en el sector del Tobogán por C.I. AMBIENTAL LTDA. Adicionalmente, se tomo en cuenta la fase exploratoria del proyecto desarrollado en el año 2009 por la firma Delta Ingenieria llamado "Exploracion del Subsuelo e Instrumentación en el Sector de Campo Alegre – Barrio Carson Mirador – Barranquilla", donde se realizaron 17 perforaciones mecánicas. Finalmente la fase exploratoria fue complementada con 10 perforaciones mecánicas realizadas entre los meses de Mayo y Junio del presente año, obteniendo una adecuada recuperación de muestras inalteradas, que fueron la base para la descripción estratígrafica del depósito.

En la Tabla 4. 1, se presentan las principales caracteristicas de las perforaciones mecanicas, ID, coordenadas, Nivel Freatico, destacandose el hecho que la profundidad de exploración fue de 20 metros. En la Figura 4. 1 se ilustra la ubicacion de las perforaciones realizadas, en diámetro HQ, con recuperacion continua para cada una de las fases exploratorias.

Un aspecto importante que se observa en la Tabla 4. 1, es que en general, el nivel freático se encuentra relativamente superficial, lo que confirma lo mencionado en el capitulo anterior, donde se hace referencia al alto grado de saturación del suelo debido al invierno y debido a cauces naturales que fueron taponados en el pasado.

Es importante destacar que las perforaciones del presente estudio fueron realizadas en época de verano, donde se esperaba que el nivel freático fuera mas bajo. En la Figura 4. 2 a la Figura 4. 4 se presentan registros de perforacion determinados en campo en cada una de las perforaciones realizadas, mientras que en el Anexo A2 "Registros de Perforación" se presentan los perfiles estratigráficos en su totalidad.



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

*Tabla 4. 1. Sondeos Realizados en el sector*

| ID | Coord_Norte_m | Coord_Este_m | NF | Proyecto |
|---|---|---|---|---|
| PC-01 | 1706868.48 | 918156.19 | 1.50 | Carrera 38 |
| PC-02 | 1706947.71 | 918072.55 | 1.50 | Carrera 38 |
| PC-03 | 1706850.38 | 917835.79 | 2.00 | Carrera 38 |
| PC-04 | 1706871.99 | 917896.44 | 0.50 | Carrera 38 |
| PC-05 | 1706857.00 | 917799.00 | 2.60 | Carrera 38 |
| PC-06 | 1706908.00 | 917912.00 | 1.20 | Carrera 38 |
| PC-07 | 1706939.00 | 917971.00 | 0.80 | Carrera 38 |
| PC-08 | 1706596.00 | 917718.00 | 0.70 | Carrera 38 |
| PC-09 | 1706455.00 | 917761.00 | 1.00 | Carrera 38 |
| PC-10 | 1706682.00 | 918499.00 | 1.50 | Carrera 38 |
| D001-P1 | 1706885.74 | 918112.54 | 3.50 | Delta |
| D001-P2 | 1706923.69 | 918104.99 | No encontrado | Delta |
| D001-P3 | 1706890.71 | 918183.19 | No encontrado | Delta |
| D001-P4 | 1706922.39 | 918149.31 | 3.80 | Delta |
| D001-P5 | 1706922.24 | 918125.70 | 3.00 | Delta |
| D001-P6 | 1706859.83 | 918153.81 | 4.00 | Delta |
| D001-P7 | 1706788.57 | 918101.07 | 4.20 | Delta |
| D001-P8 | 1706969.11 | 918095.88 | 4.50 | Delta |
| D001-P9 | 1706958.40 | 917957.75 | 3.50 | Delta |
| D001-P10 | 1706872.30 | 918045.84 | 4.00 | Delta |
| D001-P11 | 1706901.00 | 918051.00 | 4.00 | Delta |
| D001-P12 | 1707079.82 | 918001.00 | 5.00 | Delta |
| D001-P13 | 1707135.64 | 917967.75 | 5.00 | Delta |
| D001-P14 | 1707214.72 | 918059.11 | 4.00 | Delta |
| D001-P15 | 1706854.17 | 917843.22 | 3.50 | Delta |
| D001-P16 | 1706855.14 | 917914.87 | 4.50 | Delta |
| D001-P17 | 1707138.42 | 918142.79 | 4.00 | Delta |
| CA-01 | 1707233.00 | 918042.00 | 2.50 | Toboganes |
| CA-02 | 1707229.00 | 917965.00 | 1.00 | Toboganes |
| CA-03 | 1707200.00 | 917939.00 | 1.00 | Toboganes |
| CA-04 | 1707138.00 | 917907.00 | 1.00 | Toboganes |
| CA-05 | 1707044.00 | 917896.00 | 1.00 | Toboganes |
| CA-06 | 1707079.00 | 917860.00 | 1.00 | Toboganes |
| CA-07 | 1707187.00 | 918148.00 | 1.00 | Toboganes |


C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

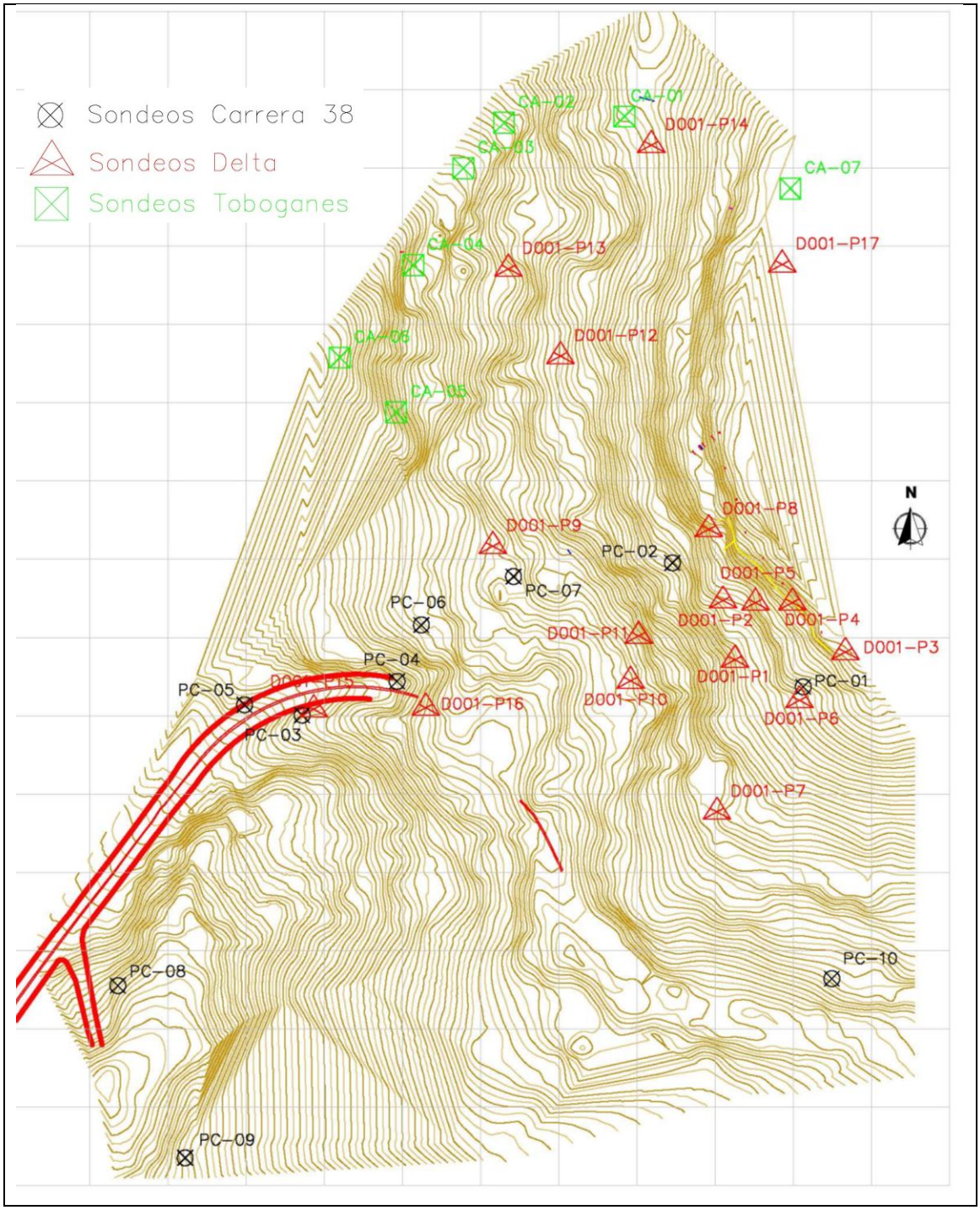



***Figura 4. 1.*** *Localización Sondeos*



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

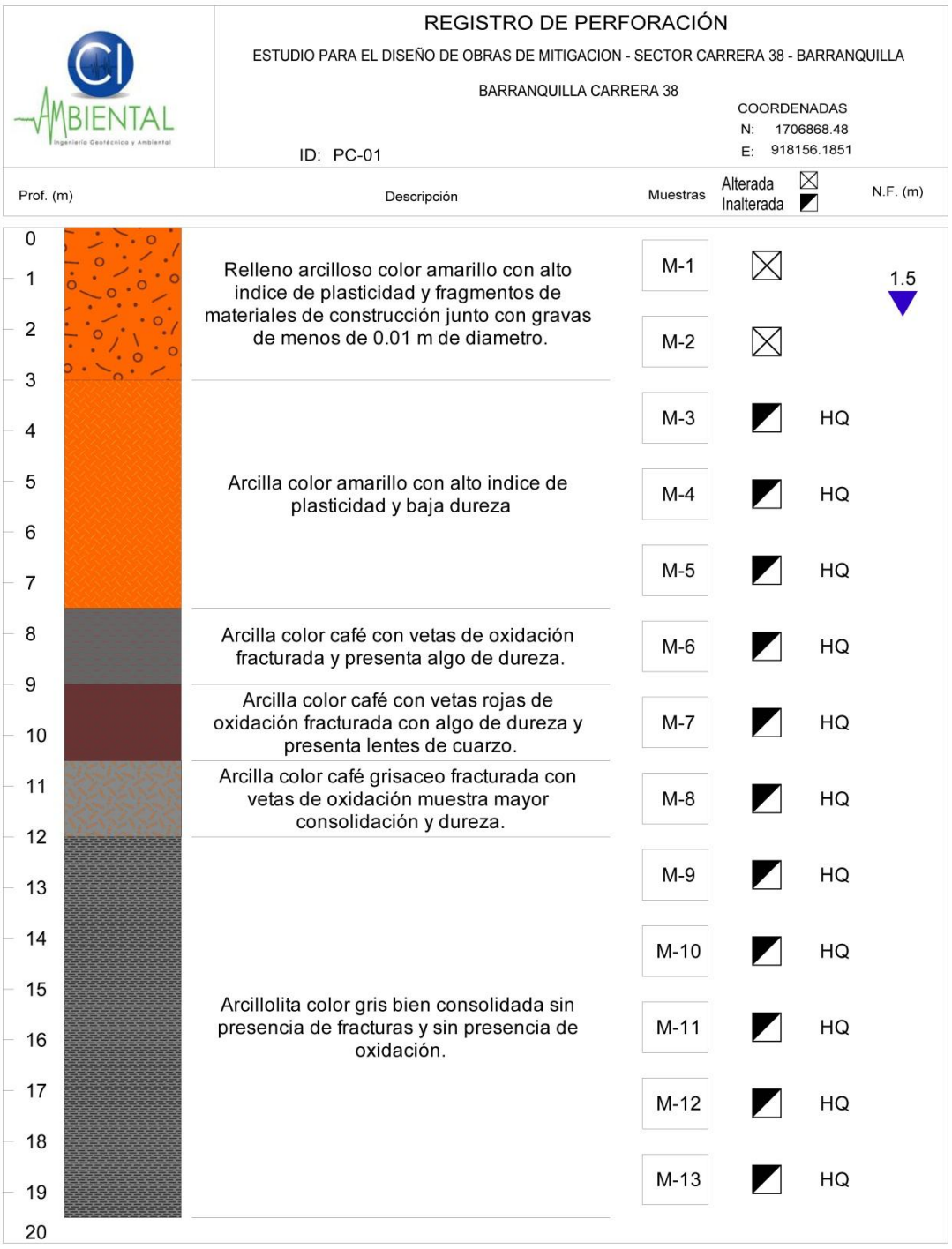



***Figura 4. 2.*** *Perfil Estratigrafico PC – 1, Proyecto Carrera 38*



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

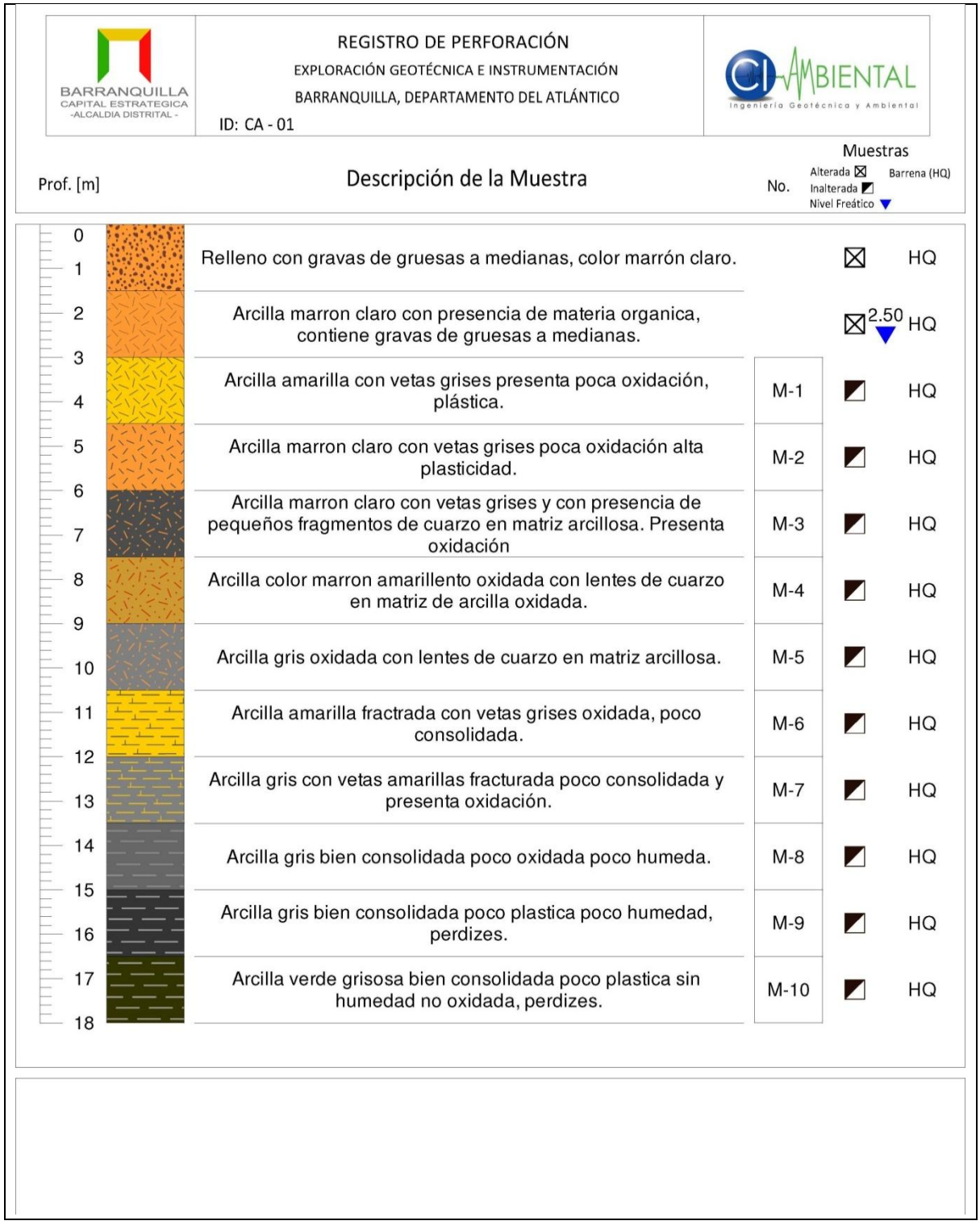



***Figura 4. 3.*** *Perfil Estratigrafico CA-01, Proyecto Toboganes*



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

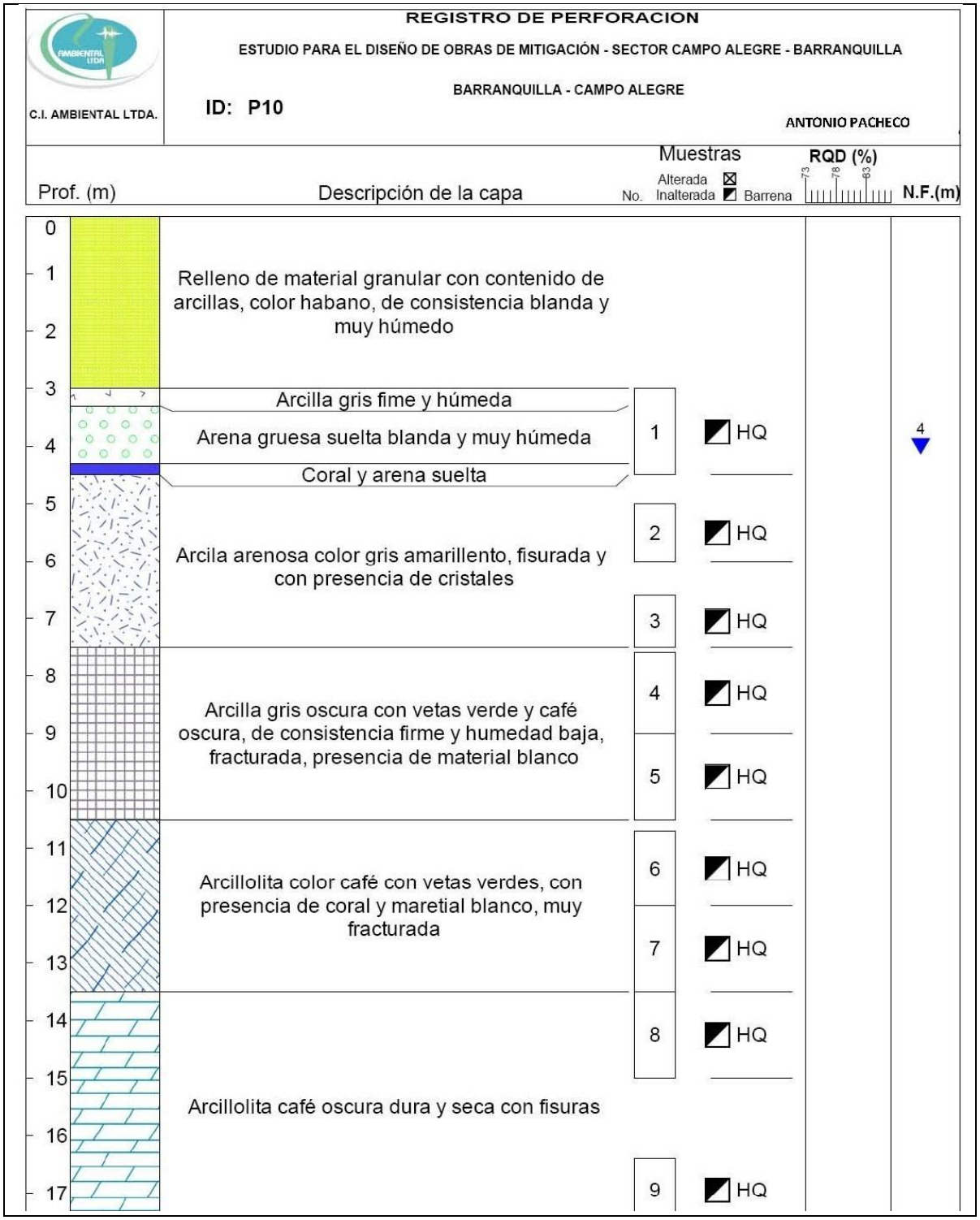



***Figura 4. 4.*** *Perfil Estratigrafico P10 (D001-P10), Proyecto Delta*



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

A partir de los perfiles estratigráficos presentados se pueden identificar claramente algunas tendencias de los materiales en profundidad, donde se observa que en los primeros metros de las perforaciones, el material encontrado es un suelo fino, plástico con presencia de materia orgánica en la parte superior y acercándose a una profundidad de 6 a 7m, se encuentran partículas cuarzosas y arenosas.

A partir de dicha profundidad, el material es un poco más oscuro, presentando tonalidades grices oscuras, y presenta una mayor compactación y consolidación, lo que se traduce en una mayor dureza, aunque se caracteriza por ser un material fracturado y oxidado, lo que significa que debido a las fracturas, el agua subterránea puede fluir a través de las grietas, oxidando el material, hasta una profundidad promedio de 11 a 12m.

Finalmente, se identifica una arcillolita inalterada, sin presencia de oxidación, pero con una alta dureza y con alto grado de consolidación, lo que da indicios que a partir de los 12m de profundidad se puede identificar roca sana. Esta profundidad es variable, y se recomienda durante la construcción verificar la profunidad de la roca sana.

## 4.2. ENSAYOS DE LABORATORIO

Con el fin de obtener las propiedades geomecánias del material aflorante en el sector, las muestras obtenidas en la exploración del subsuelo fueron sometidas a pruebas de caracterización, compresibilidad y resistencia. A continuación se presentan los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas a las muestras recuperadas en campo.

### 4.2.1. Ensayos de Clasificación

Mediante estas pruebas se pretende caracterizar las propiedades y clasificación de la fracción fina. En este orden de ideas, se determinó el límite plástico y límite líquido de la fracción fina. Los resultados de tales análisis se ilustran en la Figura 4. 5, mediante la carta de plasticidad de Casagrande.

Dentro de la caracterización del material, se tomaron los resultados de todas las fases exploratorias, no solamente los de la presente consultoria, con el fin de lograr obtener una mejor descripción del material aflorante en la zona.



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

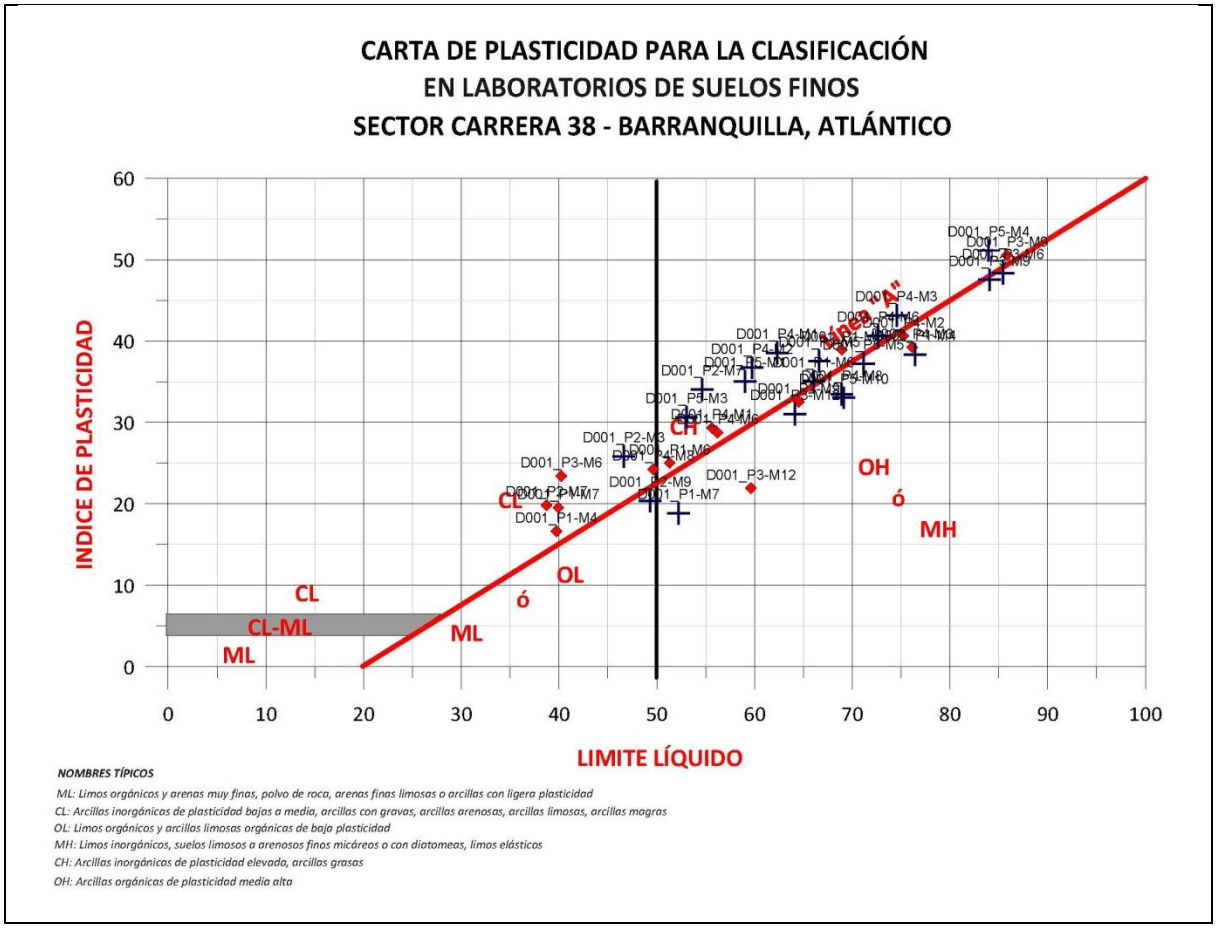



***Figura 4. 5.*** *Carta de Plasticidad*

Como se observa en la figura, la mayor parte del material aflorante en la zona se caracteriza por ser materiales de fracción fina (arcillas) de alta plasticidad (CH). Este material es el que conforma la matriz del material arcillosa de la zona. Este material presenta una desventaja en comparación con otros suelos finogranulares, y es que su grado de compactación en los estratos superiores es bajo, por tanto, en presencia de agua, este material es fácilmente erodable. Es importante destacar que el material fino presenta una importante concentración de suelos arenosos y como consecuencia de las elevadas temperaturas de la zona el material se encuentra muy agrietado, lo cual facilita la infiltración del agua.

Como ha sido mencionado previamente, una de las características más relevantes del material aflorante en la zona es el alto grado de saturación, por tanto es necesario revisar las humedades naturales de las muestras extraidas en campo, donde se observa que sus valores son relativamente altos para suelos areno-arcillosos (ver Tabla 4. 2). En el Anexo A3 “Ensayos de Laboratorio” se presentan los resultados de las evaluaciones efectuadas durante la fase de exploración.



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

***Tabla 4. 2.*** *Humedades Naturales*

| Sondeo | Muestra | Profundidad | | w [%] | Proyecto |
|---|---|---|---|---|---|
| PC03 | 8 | 10.50 | 12.00 | 23.28 | Carrera 38 |
| PC03 | 12 | 16.50 | 18.00 | 19.98 | Carrera 38 |
| PC04 | 6 | 7.50 | 9.00 | 17.40 | Carrera 38 |
| PC05 | 2 | 1.50 | 3.00 | 44.40 | Carrera 38 |
| PC05 | 6 | 7.50 | 9.00 | 26.40 | Carrera 38 |
| PC05 | 11 | 15.00 | 16.50 | 17.10 | Carrera 38 |
| PC06 | 2 | 4.50 | 6.00 | 30.40 | Carrera 38 |
| PC06 | 7 | 12.00 | 13.50 | 16.70 | Carrera 38 |
| PC07 | 4 | 7.50 | 9.00 | 30.60 | Carrera 38 |
| PC07 | 5 | 9.00 | 10.50 | 22.80 | Carrera 38 |
| D001-P1 | 4 | 8.50 | 8.64 | 37.41 | Delta |
| D001-P1 | 5 | 10.00 | 10.12 | 29.23 | Delta |
| D001-P1 | 6 | 11.40 | 11.50 | 31.74 | Delta |
| D001-P1 | 7 | 12.80 | 12.90 | 162.98 | Delta |
| D001-P1 | 9 | 15.50 | 15.80 | 24.91 | Delta |
| D001-P2 | 3 | 3.00 | 3.20 | 15.62 | Delta |
| D001-P2 | 4 | 5.80 | 6.00 | 30.16 | Delta |
| D001-P2 | 5 | 6.30 | 6.40 | 20.71 | Delta |
| D001-P2 | 6 | 8.00 | 8.10 | 22.90 | Delta |
| D001-P2 | 7 | 9.80 | 10.00 | 25.36 | Delta |
| D001-P2 | 8 | 11.20 | 11.30 | 19.01 | Delta |
| D001-P2 | 9 | 12.80 | 12.90 | 17.19 | Delta |
| D001-P2 | 10 | 14.10 | 14.11 | 25.03 | Delta |
| D001-P2 | 11 | 15.50 | 15.70 | 25.63 | Delta |
| D001-P3 | 4 | 3.80 | 3.90 | 42.13 | Delta |
| D001-P3 | 6 | 6.20 | 6.32 | 44.55 | Delta |
| D001-P3 | 8 | 9.20 | 9.27 | 28.15 | Delta |
| D001-P3 | 9 | 11.00 | 11.13 | 46.84 | Delta |
| D001-P3 | 10 | 12.20 | 12.31 | 30.40 | Delta |
| D001-P3 | 11 | 14.00 | 14.13 | 31.99 | Delta |
| D001-P3 | 12 | 15.80 | 15.90 | 28.00 | Delta |
| D001-P3 | 13 | 17.00 | 17.10 | 24.30 | Delta |
| D001-P4 | 1 | 3.50 | 3.79 | 22.23 | Delta |
| D001-P4 | 2 | 5.00 | 5.20 | 22.69 | Delta |
| D001-P4 | 3 | 6.20 | 6.40 | 14.90 | Delta |
| D001-P4 | 4 | 8.00 | 8.10 | 35.26 | Delta |
| D001-P4 | 6 | 11.50 | 11.57 | 36.77 | Delta |
| D001-P4 | 7 | 12.50 | 12.65 | 30.55 | Delta |
| D001-P5 | 1 | 0.80 | 1.02 | 34.81 | Delta |
| D001-P5 | 3 | 3.50 | 3.68 | 23.66 | Delta |
| D001-P5 | 4 | 5.00 | 5.13 | 36.48 | Delta |
| D001-P5 | 5 | 6.40 | 6.56 | 33.71 | Delta |
| D001-P5 | 6 | 8.00 | 8.12 | 32.44 | Delta |
| D001-P5 | 7 | 9.50 | 9.68 | 30.03 | Delta |
| D001-P5 | 10 | 14.60 | 14.76 | 31.81 | Delta |
| D001-P5 | 12 | 17.00 | 17.19 | 24.00 | Delta |
| D001-P5 | 13 | 18.50 | 18.70 | 25.22 | Delta |



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

### 4.2.2. Ensayos de Resistencia

Los parametros de resistencia utilizados en los analisis de estabilidad se obtuvieron a partir de ensayos de corte y triaxiales estáticos realizados a las muestras obtenidas de las perforaciones. En la Tabla 4. 3 se presenta un consolidado de los resultados obtenidos para los ensayos de corte y triaxiales de las muestras recuperadas durante las fases exploratorias de la presente consultoria y del proyecto desarrollado por la firma Delta Ingenieria, donde se observan ciertas tendencias de valores a profundidades similares. Por ejemplo, para profundidades menores de 7m, el valor del ángulo de fricción residual no supera los 12°, y la cohesión residual cercana a cero; mientras que antes de 15m se presentan angulos de fricción pico normales para suelos limo arcillosos consolidados, valores cercanos a los 35°. En la Figura 4. 6 a Figura 4. 14, se presentan los resultados de un corte directo y un triaxial monotónico; en el Anexo A3 "Ensayos de Laboratorio", se presentan los resultados de laboratorio en su totalidad.

***Tabla 4. 3.*** *Resultados Ensayos de Resistencia*

| Sondeo | Muestra | Profundidad | | Φ' [°] | c' [kg/cm²] | Φ [°] | c [kg/cm²] | Proyecto |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PC01 | 5 | 6.00 | 7.50 | 38.09 | 0.30 | 5.80 | 0.20 | Carrera 38 |
| PC02 | 4 | 4.50 | 6.00 | 18.60 | 0.30 | 10.50 | 0.20 | Carrera 38 |
| PC02 | 8 | 10.50 | 12.00 | 39.60 | 0.05 | 38.50 | 0.00 | Carrera 38 |
| PC03 | 13 | 18.00 | 19.50 | 15.60 | 0.10 | 13.90 | 0.00 | Carrera 38 |
| PC03 | 8 | 10.50 | 12.00 | 25.60 | 0.07 | 13.40 | 0.00 | Carrera 38 |
| PC04 | 13 | 18.00 | 19.50 | 14.80 | 0.23 | | | Carrera 38 |
| PC04 | 9 | 12.00 | 13.50 | 21.60 | 0.52 | | | Carrera 38 |
| PC05 | 7 | 9.00 | 10.50 | 19.40 | 0.70 | | | Carrera 38 |
| PC06 | 6 | 10.50 | 12.00 | 14.40 | 1.60 | | | Carrera 38 |
| PC07 | 3 | 6.00 | 7.50 | 7.30 | 0.40 | | | Carrera 38 |
| PC07 | 5 | 9.00 | 10.50 | 21.20 | 0.51 | | | Carrera 38 |
| D001-PC01 | 4 | 8.50 | 8.64 | 16.16 | 0.08 | 11.92 | 0.00 | Delta |
| D001-PC02 | 10 | 14.10 | 14.40 | 19.30 | 0.32 | 15.60 | 0.00 | Delta |
| D001-PC02 | 4 | 5.80 | 6.00 | 31.50 | 0.02 | 21.40 | 0.00 | Delta |
| D001-PC02 | 6 | 8.00 | 8.10 | 33.60 | 0.13 | 19.10 | 0.00 | Delta |
| D001-PC02 | 8 | 11.20 | 11.30 | 34.90 | 0.60 | 29.50 | 0.20 | Delta |
| D001-PC03 | 10 | 12.20 | 12.31 | 46.60 | 0.40 | 42.90 | 0.00 | Delta |
| D001-PC03 | 13 | 17.00 | 17.10 | 59.40 | 0.30 | 50.00 | 0.00 | Delta |
| D001-PC03 | 4 | 3.80 | 3.90 | 26.90 | 0.03 | 19.20 | 0.00 | Delta |
| D001-PC03 | 8 | 9.20 | 9.27 | 42.40 | 0.10 | 35.60 | 0.00 | Delta |
| D001-PC04 | 2 | 5.00 | 5.20 | 19.30 | 0.03 | 10.70 | 0.00 | Delta |
| D001-PC04 | 4 | 8.00 | 8.10 | 22.30 | 0.13 | 15.60 | 0.00 | Delta |
| D001-PC04 | 7 | 12.00 | 12.65 | 32.00 | 0.30 | 25.60 | 0.05 | Delta |
| D001-PC05 | 12 | 17.00 | 17.16 | 64.40 | 0.50 | 38.90 | 0.00 | Delta |
| D001-PC05 | 3 | 3.50 | 3.68 | 21.80 | 0.38 | 15.90 | 0.00 | Delta |
| D001-PC05 | 12 | 17.00 | 17.16 | 64.40 | 0.50 | 38.90 | 0.00 | Delta |
| D001-PC05 | 6 | 3.50 | 3.68 | 29.50 | 0.30 | 23.60 | 0.03 | Delta |
| D001-PC06 | 10 | 14.60 | 14.70 | 16.00 | 0.06 | 15.60 | 0.00 | Delta |
| D001-PC06 | 2 | 1.80 | 1.90 | 17.20 | 0.10 | 10.50 | 0.00 | Delta |
| D001-PC06 | 7 | 10.20 | 10.40 | 26.40 | 0.09 | 15.60 | 0.00 | Delta |
| D001-PC06 | 9 | 13.00 | 13.20 | 37.82 | 0.20 | 29.10 | 0.00 | Delta |



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

- ***Ensayo de Corte Directo***

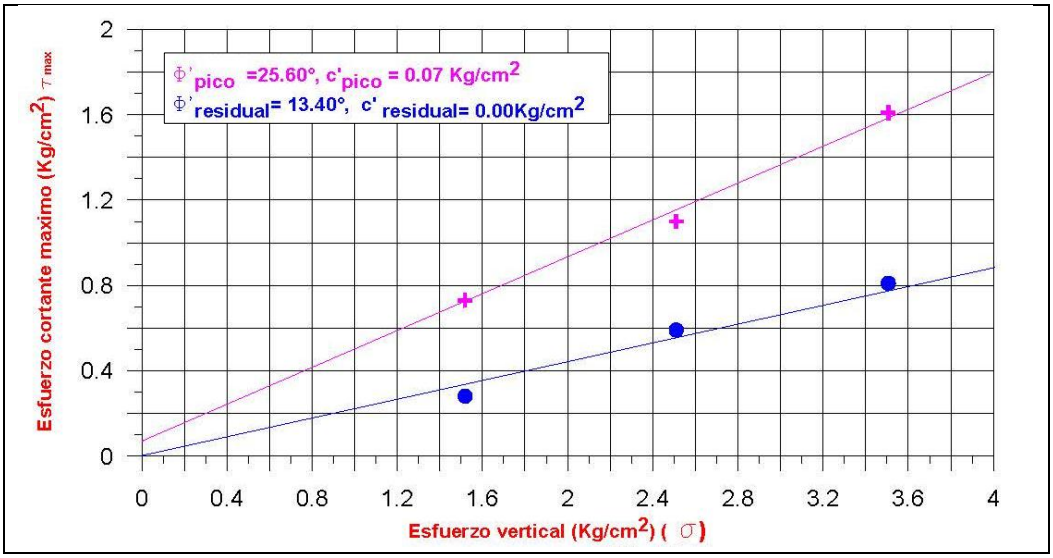



***Figura 4. 6*** *Envolvente de esfuerzos ensayo de corte PC-03, M8, Prof 10.50-12.00 m*

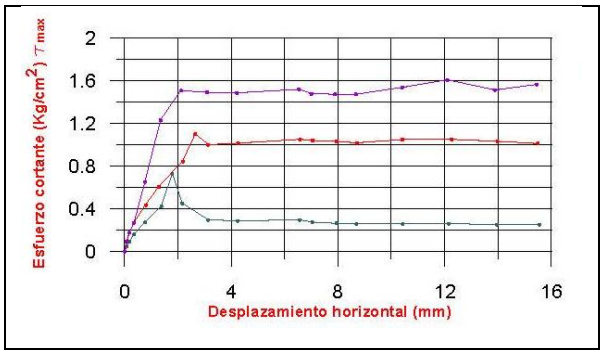



*Figura 4. 7 Desplazamiento horizontal a diferentes esfuerzos cortantes (condición pico)*

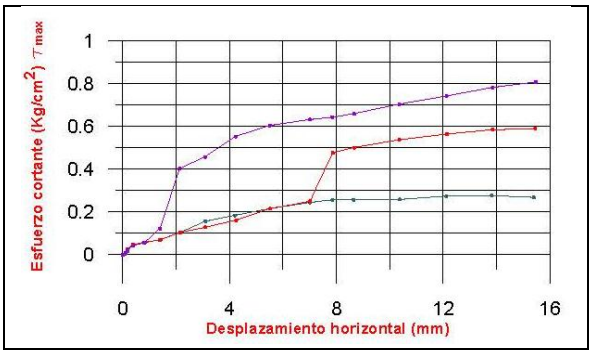



***Figura 4. 8*** *Desplazamiento horizontal a diferentes esfuerzos cortantes (condición residual)*

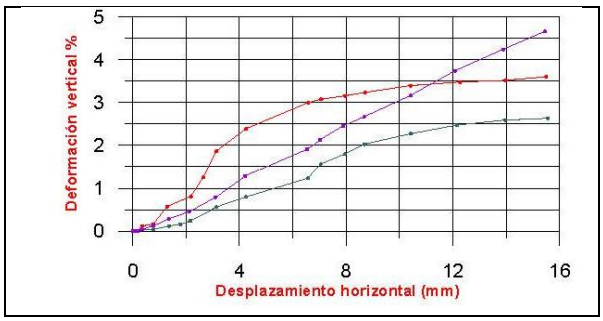



***Figura 4. 9*** *Deformación vertical vs Desplazamiento horizontal (condicón pico)*

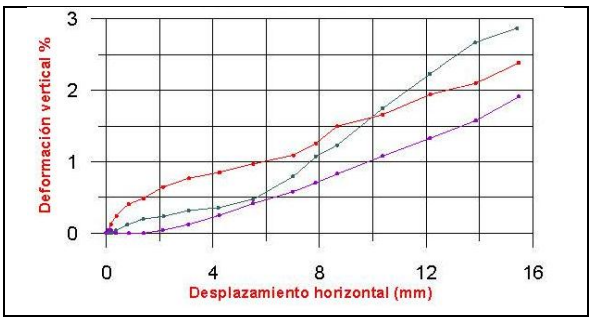



***Figura 4. 10*** *Deformación vertical vs Desplazamiento horizontal (condición pico)*



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

- ***Ensayo Triaxial consolidado no drenado midiendo presion de poros***

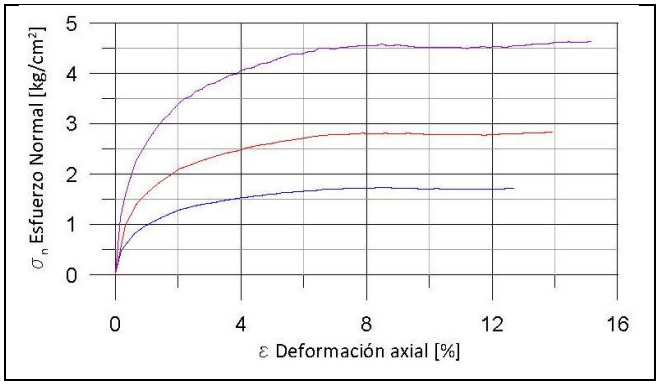



***Figura 4. 11.*** *Esfuerzo normal vs Deformación Axial (%). PC – 01 M6 Prof 7.50 – 9.00 m.*

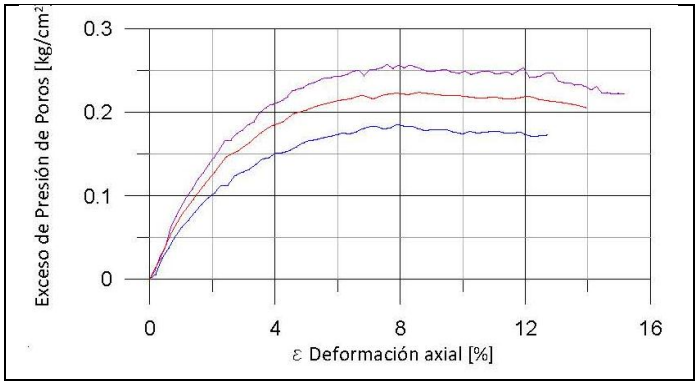



***Figura 4. 12*** *Exceso pepresión de poros Vs Deformación Axial (%).PC – 01 M6 Prof 7.50 – 9.00 m.*

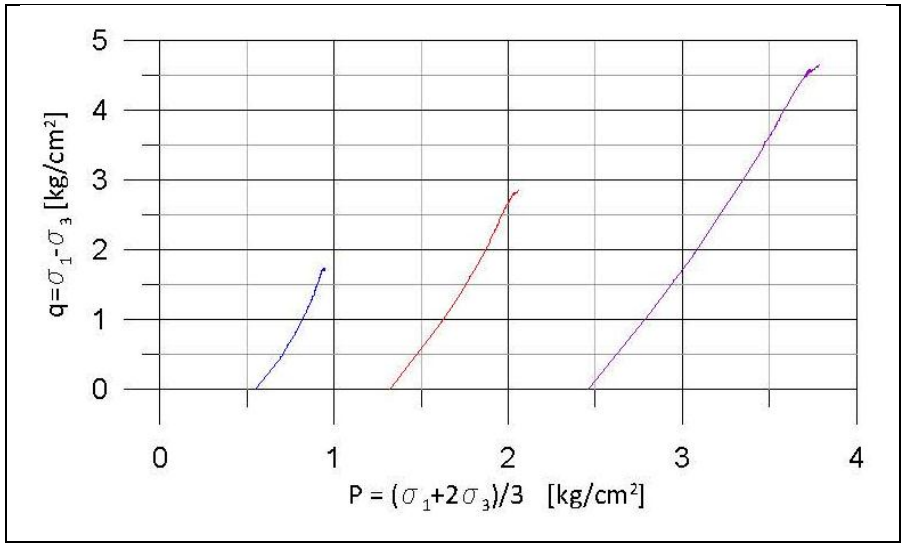



***Figura 4. 13*** *q (σ1-σ3) Vs P (σ1+2σ3)/3. PC – 01 M6 Prof 7.50 – 9.00 m*



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

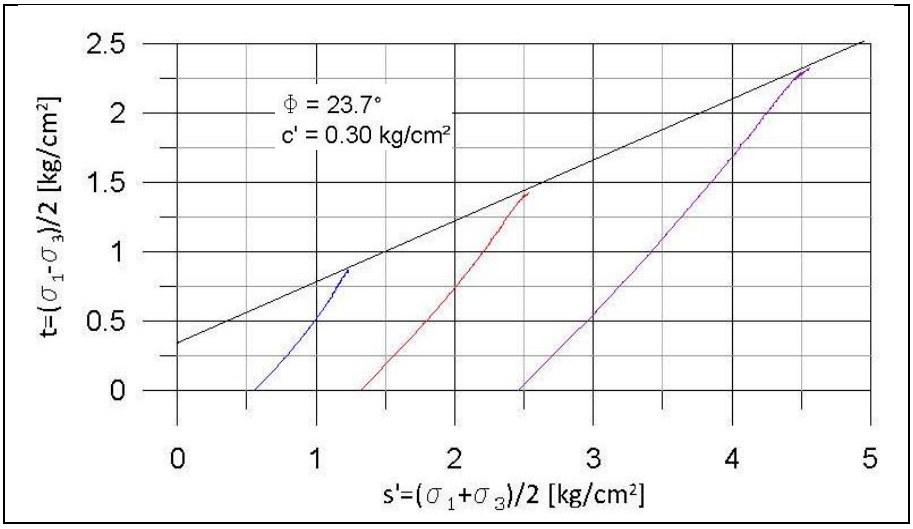



***Figura 4. 14*** *t(σ1-σ3)/2 Vs s' (s1+s3)/2. PC – 01 M6 Prof 7.50 – 9.00 m*

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos de cada una de las fases exploratorias, se seleccionaron los parámetros más representativos de los diferentes estratos aflorantes en el sector. En general, se encontró que el material superficial presenta bajos parámetros de resistencia, y en general, los parámetros de resistencia se incrementa en profundidad, hasta encontrar los valores más altos en la arcillolita inalterada. En la Tabla 4. 4 se presentan los parámetros seleccionados para los diferentes estratos.

***Tabla 4. 4.*** *Parametros de resistencia seleccionados*

| PROYECTO | SONDEO | MUESTRA | PROFUNDIDADES | | PARÁMETROS GEOMECÁNICOS | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | PICO | | RESIDUAL | | γ [KN/m³] |
| | | | DE [m] | HASTA [m] | Φ' [°] | c' [Kg/cm²] | Φ [°] | c [Kg/cm²] | |
| CARRERA 38 | 2 | 4 | 4.50 | 6.00 | 18.60 | 0.30 | 10.50 | 0.20 | 20.50 |
| TOBOGANES | Suelo residual arcilloso | | | | 26.61 | 0.05 | 26.16 | 0.03 | 16.66 |
| CARRERA 38 | 1 | 5 | 6.00 | 7.50 | 38.09 | 0.30 | 5.80 | 0.20 | 20.50 |
| DELTA | 3 | 4 | 3.80 | 3.90 | 26.90 | 0.03 | 19.20 | 0.00 | 18.20 |
| CARRERA 38 | 2 | 8 | 10.50 | 12.00 | 39.60 | 0.04 | 38.50 | 0.00 | 20.30 |
| CARRERA 38 | 3 | 8 | 10.50 | 12.00 | 25.60 | 0.06 | 13.40 | 0.00 | 20.80 |
| DELTA | 6 | 9 | 13.00 | 13.20 | 37.82 | 0.20 | 29.10 | 0.00 | 19.00 |
| TOBOGANES | Formación Perdices | | | | 46.74 | 0.44 | 35.94 | 0.04 | 19.11 |
| TOBOGANES | Suelo resisual arcillolita | | | | 45.35 | 0.44 | 43.58 | 0.41 | 17.83 |
| CARRERA 38 | 3 | 13 | 18.00 | 19.50 | 15.60 | 0.10 | 13.90 | 0.00 | 20.50 |

Los anteriores resultados muestran que el material presenta un comportamiento relativamente dúcil y adicionalmente, se observa que mecánicamente el suelo que se encuentra sobre lo que se puede considerar como roca sana (Formación Perdices), puede ser el mismo material de la formación, pero con un alto grado de fracturamiento, ya que los valores son inferiores a los que prsenta dicha formación.



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

# 5. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

El modelo geologico-geotecnico se define como aquel que involucra aspectos geológicos (variación en profundidad de los diferentes depositos) y geotecnicos (caracterización geomecanica de los diferentes depositos). Las anteriores variables son necesarias para la obtención de perfiles geotecnicos que seran utilizados posteriormente en los analisis de estabilidad. En este orden de ideas se definieron 8 (ocho) secciones (ver Figura 5. 1), consideradas las mas criticas para los respectivos análisis de estabilidad, teniendo en cuenta que las sección de mayor importancia son las centrales (3, 4y 5) debido que son las que atraviesan el deslizamiento ocurrido hace mas de un año.

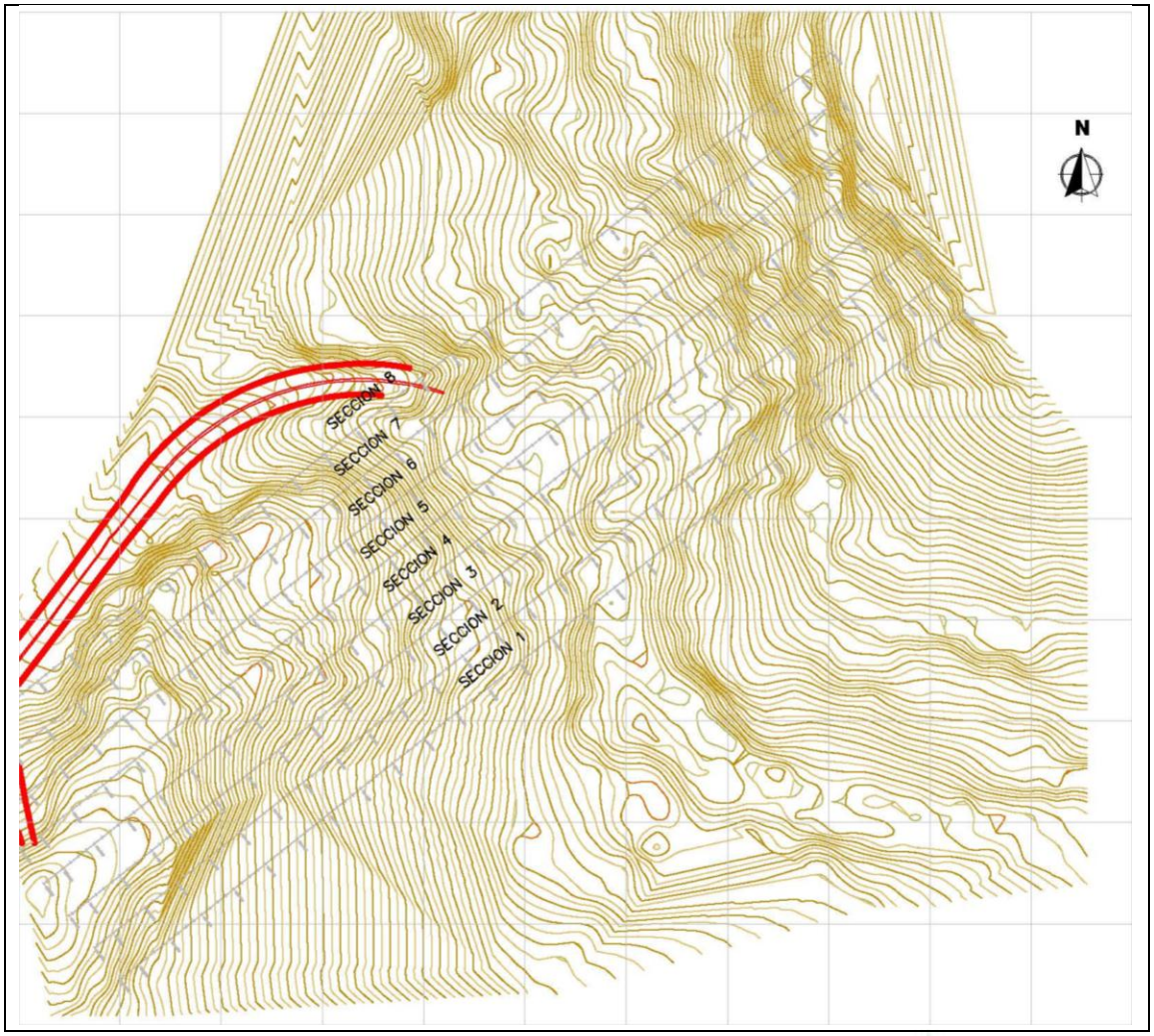



***Figura 5. 1 Secciones definidas en para estudio en el Sector 1 Km 32 + 000***



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

## 5.1. DISTRIBUCIÓN DE LOS MATERIALES EN PROFUNDIDAD

De acuerdo a la información obtenida en los registros de perforación (perforaciones mecánicas por rotación), se procedió a definir tipos y espesores de diferentes tipos de materiales, agrupándolos de acuerdo a su similitud de características físicas y a partir de la descripción dada en campo principalmente. La idea principal es determinar los espesores de los diferentes estratos en cada una de las secciones de control propuestas, creando de esta forma los perfiles geológicos-geotécnicos que serán utilizados en la modelación, donde se destacan entre otros aspectos la variación de los diferentes estratos, así como la ubicación del nivel freático. A partir del análisis de los perfiles estratigráficos de las fases exploratorias se determinaron tres estratos diferentes, los cuales se describen a continuación:

### 5.1.1. Suelo arcilloso

Este material se encuentra en la parte superior de la unidade geológica de la formación perdices Tmp. Está constituida por shales arcillosos y arcillolitas residuales, grises oscuras, verdosas, plásticas, con intercalaciones de areniscas friables, grises parduzcas amarillentas, este material tiene una profundidad entre 4 y 8 metros aproximadamente. Este material se caracteriza por presentarparámetros de resistencia residuales muy bajos, lo cual explica porque taludes con pendientes tan suaves están fallando.

### 5.1.2. Arcillolita fracturada

Constituida por arcillolitas, grises oscuras, verdosas, y plasticas, las cuales estan muy fracturadas. Este material actua como un acuifero donde el agua puede fluir fácilmente. Este estrato corresponde a una potencial zona de debilidad que está inyectando permanentemente agua a las capas superiores.

### 5.1.3. Arcillolita inalterada

Constituida por arcillolitas, grises oscuras, verdosas, plásticas. Es importante destacar que en las zonas donde afloran las arcillolitas de la formación Perdices, éstas se encuentran cubiertas por depósitos de Coluvión. Este material se encuentra inalterado, y será utilizada como estrato portante para las obras que se proponen a continuación.

En la Figura 5. 2 a la Figura 5. 9 se presentan los perfiles geológicos sobre cada una de las secciones de control.



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

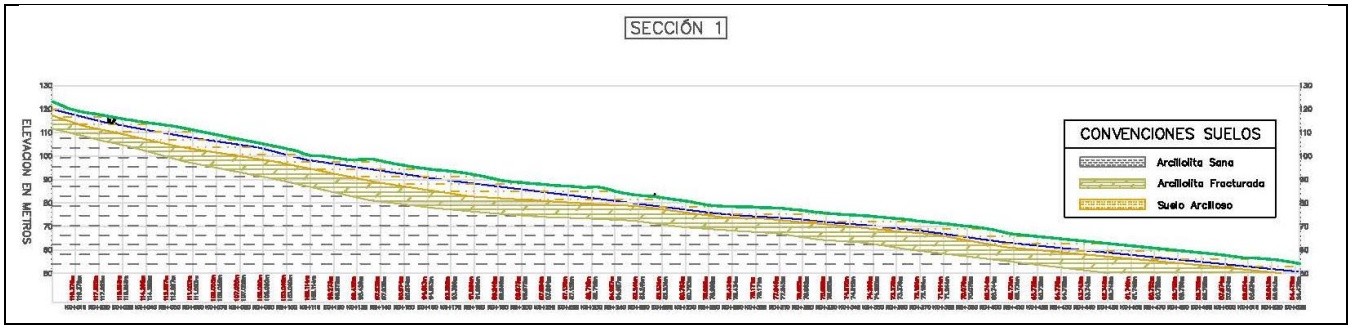



***Figura 5. 2.*** *Perfil geológico – geotécnico Sección 1*

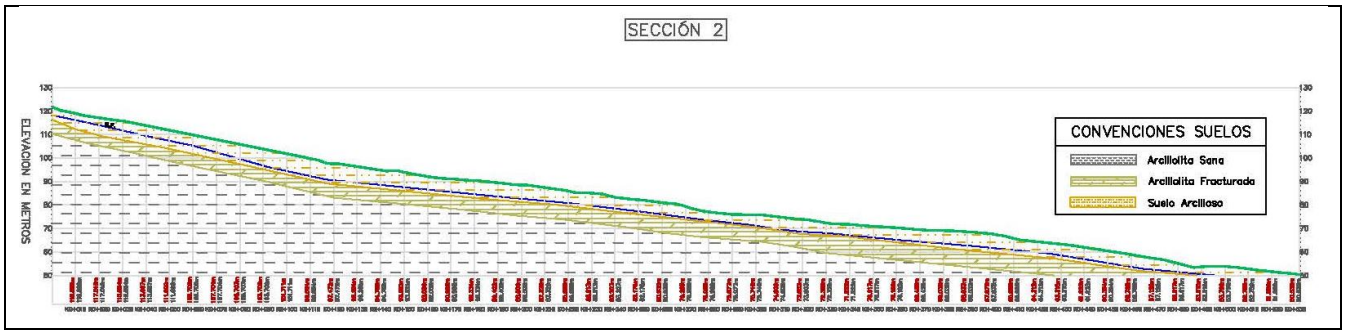



***Figura 5. 3*** *Perfil geológico - geotécnico sección 2*

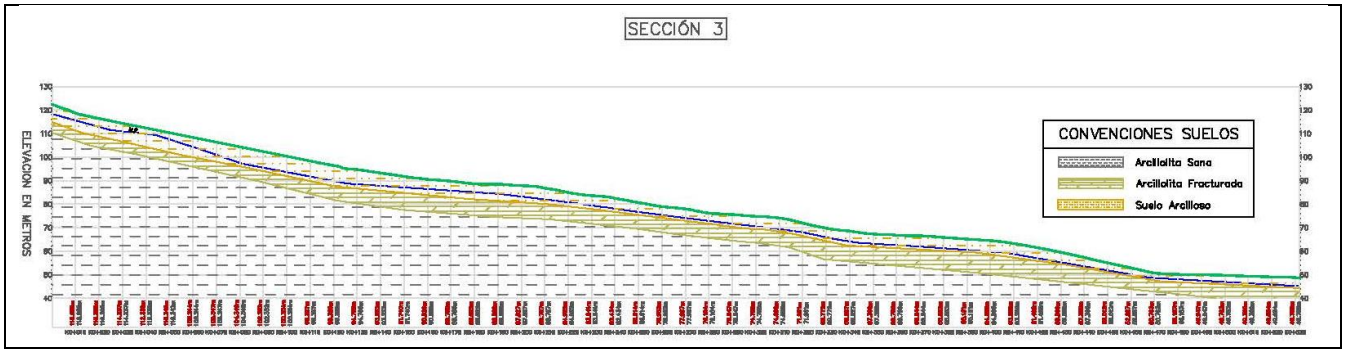



***Figura 5. 4*** *Perfil geológico - geotécnico sección 3*

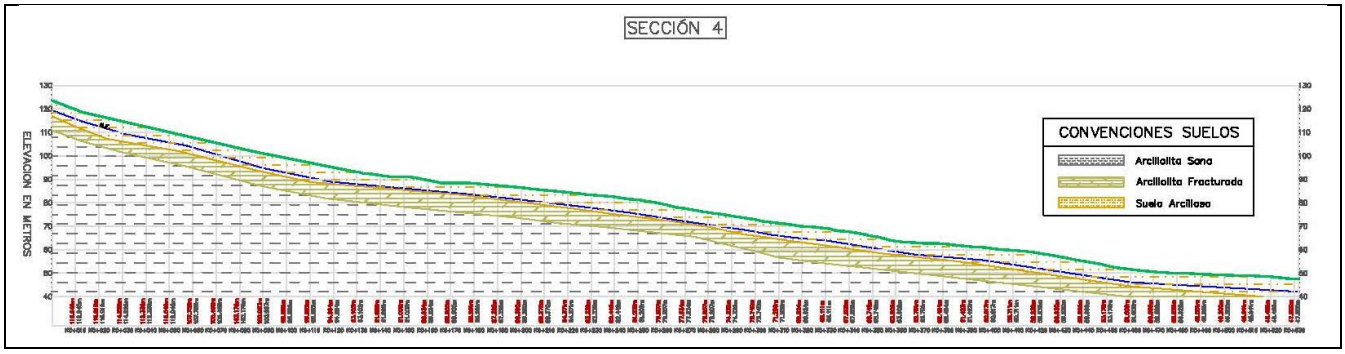



***Figura 5. 5*** *Perfil geológico - geotécnico sección 4*



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

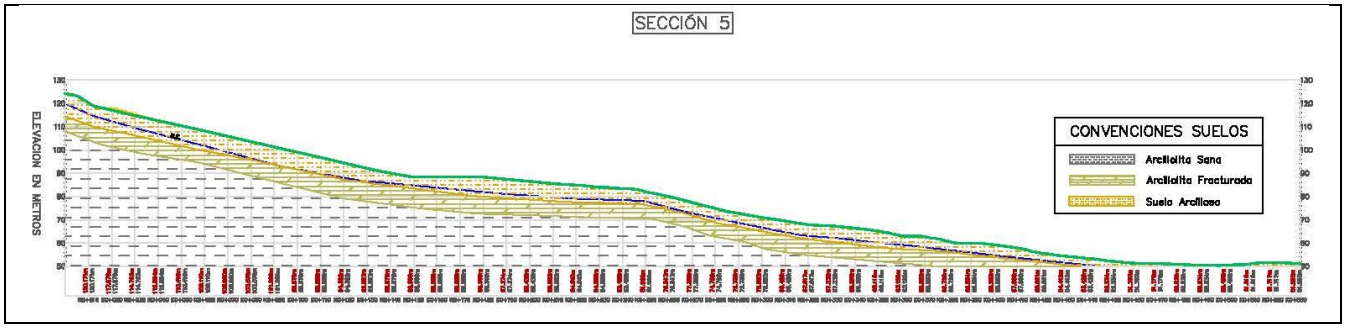



***Figura 5. 6*** *Perfil geológico - geotécnico sección 5*

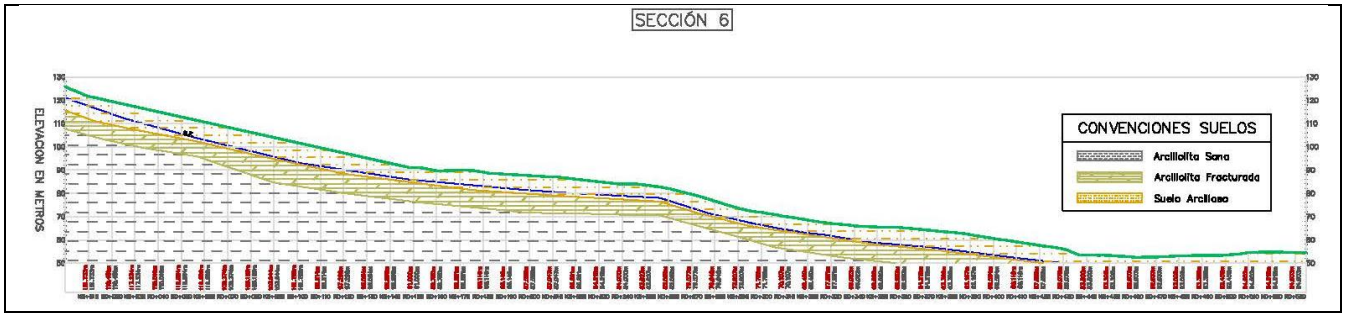



***Figura 5. 7*** *Perfil geológico - geotécnico sección 6*

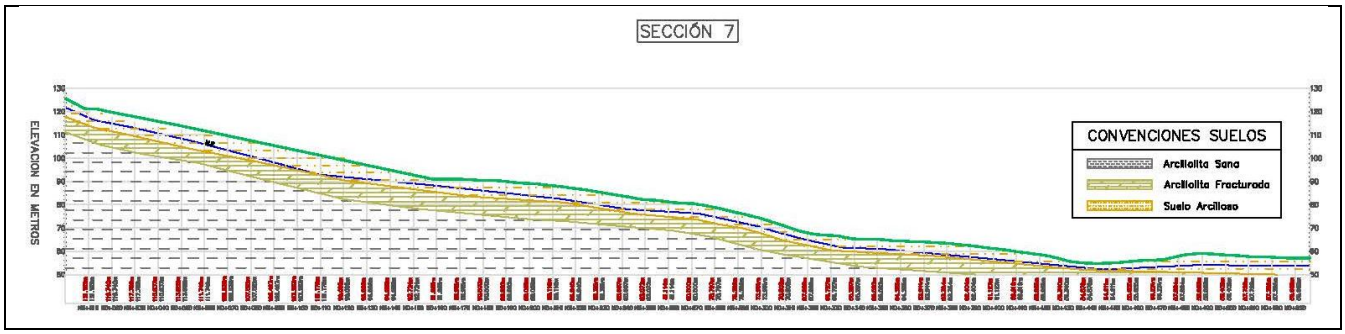



***Figura 5. 8*** *Perfil geológico - geotécnico sección 7*

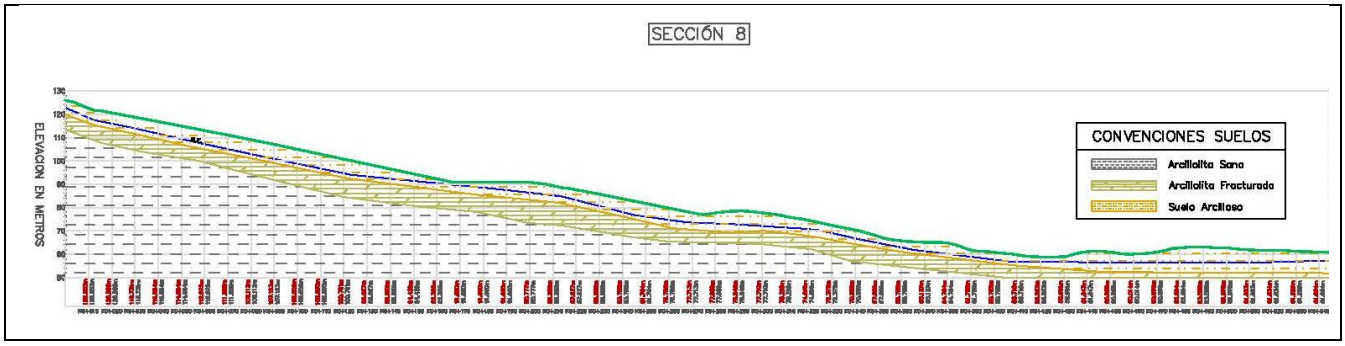



***Figura 5. 9*** *Perfil geológico - geotécnico sección 8*



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

## 5.2. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EMPLEADOS EN LA MODELACIÓN

A partir del análisis de los resultados de laboratorio y basados en los materiales determinados anteriormente, se definieron por estrato los parámetros geomecánicos para cada uno de ellos; en la Tabla 5. 1 se presentan los parámetros de resistencia asignados a los diferentes estratos, determinados a partir de analizar los valores mínimos y promedios de los valores presentados en la Tabla 4. 4. Debido a que las obras a proponer pueden contar con un material de relleno, para dicho material se ha optado por trabajar con los parámetros de resistencia residual.

***Tabla 5. 1*** *Párametros Geomecánicos*

| ESTRATO | PARÁMETROS GEOMECÁNICOS | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | PICO | | RESIDUAL | | g [KN/m³] |
| | Φ' [°] | c' [Kg/cm²] | Φ [°] | c [Kg/cm²] | |
| Suelo Arcilloso | 22.61 | 0.17 | 10.50 | 0.03 | 18.58 |
| Arcillolita Fracturada | 25.60 | 0.04 | 13.40 | 0.00 | 20.55 |
| Arcillolita Sana | 45.35 | 0.44 | 35.94 | 0.04 | 18.47 |
| Relleno Seleccionado Compactado | -- | -- | 21.00 | 0.00 | 30.00 |

## 5.3. ANÁLISIS PARA CONDICIÓN ACTUAL SIN OBRAS DE MITIGACIÓN

El presente análisis es realizado para la condición actual del terreno. Como se observo en los registros de perforación, el nivel freático se encuentra muy cercano a la superficie, lo que indica que el material es de una porosidad alta, permitiendo que el agua ascienda fácilmente, por tanto, la hipótesis del análisis es que el terreno se encuentra totalmente saturado, que corresponde a una situación crítica ya que la zona se ha visto afectada por el taponamiento de los cauces.

Además del ascenso del nivel freático, es necesario evaluar la incidencia de otro factor detonante como lo es la fuerza sísmica, que aunque en el distrito metropolitano de Barranquilla es bajo a comparación de otras ciudades del país, es necesario tenerlo en cuenta en los análisis; según la microzonificación sísmca del país, el coeficiones de aceleración horizontal de Barranquilla es de 0.1g.

En los análisis que se presentan a continuación, la superficie de ruptura se ha hecho coincidir con el nivel sueloresidual-arcillolita fracturada, debido a que los registros de los inclinómetros muestran que el mecanismo de falla es de tipo traslacional, con componente circular hacia la cabecera del deslizamiento. Los análisis muestran que para esta condición se obtienen factores de


C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

seguridad menores a 1.2. En la Figura 5. 10 y Figura 5. 11 se presentan algunos de los resultados para las secciones analizadas, mientras que en el Anexo A4 “Análisis de Estabilidad”, se presentan los análisis completos de las secciones críticas.

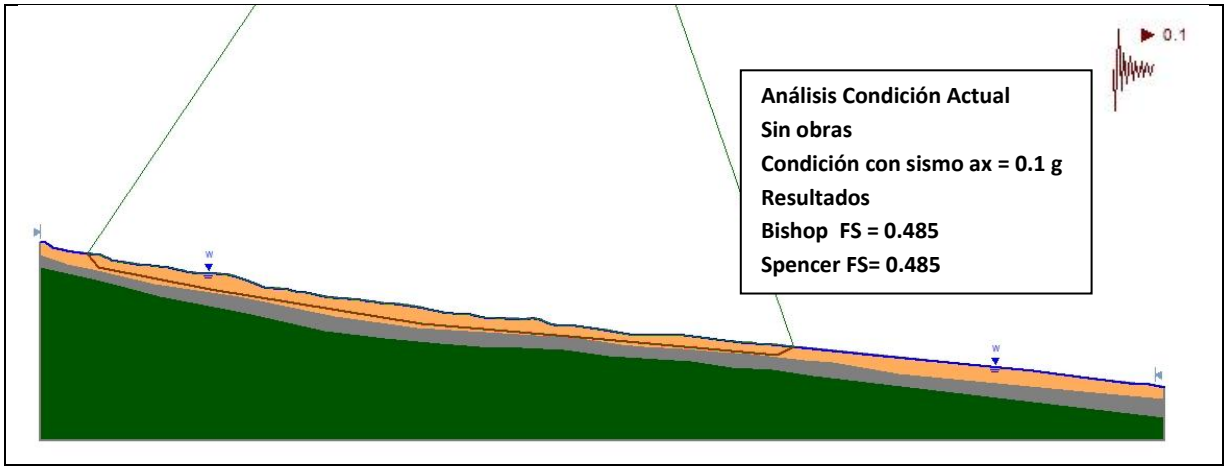



***Figura 5. 10*** *Análisis de estabilidad condición actual, Sección 1.*

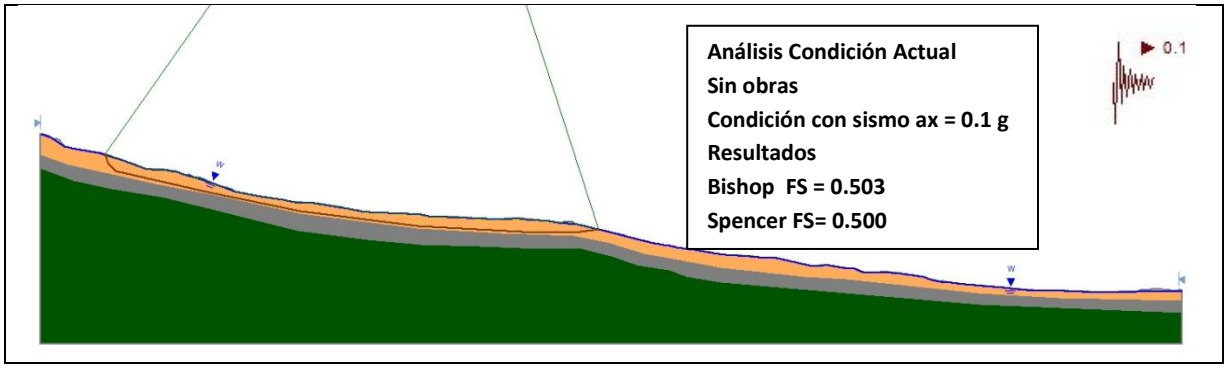



***Figura 5. 11*** *Análisis de estabilidad condición actual, Sección 5.*

A partir del análisis de estabilidad para la condición actual se demuestra que para ésta condición el terreno falla debido al ascenso del nivel freático y a las bajas propiedades geomecánicas del suelo. El factor de seguridad máximo calculado fue de 0.548, lo cual concuerda con la situación actual de la zona de estudio, falla total de la ladera.

## 5.4. ANÁLISIS PARA CONDICIÓN CON OBRAS DE MITIGACIÓN

Basados en la condición de falla del talud, se propusieron diversas alternativas de obras de estabilización de la ladera, las cuales en el momento de trabajar de manera integral, garantizan la estabilidad de la misma. Dichas medidas correctivas son:

- Movimiento de tierra


C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

- Muro en cantilever anclado
- Pilotes en concreto reforzado
- Pilotes en suelo-cemento
- Muros en Gaviones
- Estructuras para el control de aguas superficiales
- Estructuras para el control de agua subterráneas

Con las obras de movimiento de tierra, lo que se busca es retirar el material de bajas propiedades mecánicas y reemplazarlo con un relleno seleccionado, o hacer los cortes necesarios para disminuir las cargas sobre la ladera. En la parte superior del talud se recomienda la construcción de un Muro en Cantilever anclado y apoyado en una hilera de pilotes de 0.80m de diámetro en concreto reforzado; inmediatamente bajo del muro se encuentran dos bermas sobre las cuales se recomienda la construcción de tres (3) hileras de pilotes en concreto reforzado de 0.60m de diámetro; los pilotes trabajan a cortante, de tal forma que disminuye la posibilidad de generacion de superficies de falla a través de la hilera de pilotes, y dichos pilotes irán amarrados con vigas cabezales, las cuales, deberán ir empotrados en la roca con el fin de evitar un posible cabeceo de la misma.

Debido a que el deslizamiento arraso con la Carrera 38, se hace necesario el replanteo de la via, y con el fin de brindarle una protección ante un posible evento futuro, además de las obras de proteccion en la parte alta del talud, se recomienda el encajonamiento de la via replanteada en dos hileras de pilotes de 0.80m de diámetro amarrados igualmente con una viga cabezal pararela al alineamiento de la via; algunos de estos pilotes quedarán sujetos a unas vigas transversales, de tal forma que actuen como porticos en la transmisión de cargas en el momento de presentarse un movimiento. Con esto también se asegura que si en la parte baja de la via, llegase a ocurrir un fenómeno de remosión, la via no se vea afectada; adicionalmente, con el fin de evitar posibles cabeceos de las vigas cabezales, la primera hilera de pilotes (parte alta del talud) debera ir anclada en la roca.

Buscando evitar fenómenos en la parte baja de la vía, además del movimiento de tierras, se propone seguir con la misma tendencia de las bermas con hileras de pilotes, viga cabezal y anclaje, hasta llegar a la parte baja del deslizamiento, donde confluyen los vectores de movimiento definidos por el geólogo, requiriéndose una estructura de gravedad, la cual será un muro en gaviones de 6m de alto y 10m de ancho, la cual además de permitir deflexiones del mismo muro, proporciona funciones de drenaje, evitando el acumulamiento de agua superficial.

En el sector occidental de la zona de estudio, bajo la via, fue necesario proponer una hilera intermedia de pilotes ya que las superficies de falla se presentaban a profundidades de 6m aproximadamente y los factores de seguridad eran menores de 1.


C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

Todas estas obras funcionan si trabajan integralmente con las estructuras para el control del agua superficial, ya que a lo largo de todo el sector se canalizarán todos los drenajes naturales y se conducirá de manera conveniente para evitar su afectación directa a las estructuras de mitigacion. Adicional a las obras de control de aguas superficiales, se manejará de manera adecuada las aguas subterráneas, buscando con eso el abatimiento del nivel freático y asi evitando cargas hidrostáticas adicionales sobre las obras propuestas.

Con estas obras, se procedió a realizar un nuevo el análisis de estabilidad para cada una de las secciones definidas como las más criticas. En este nuevo análisis, se involucró el movimiento de tierra, la reconformación del terreno, obras de contención y obras de drenaje (en la Figura 5. 13 y Figura 5. 14 se presenta dicho análisis para las secciones de control 1 y 4, respectivamente). Para esta condición se obtuvieron los factores de seguridad presentados en la Tabla 5.2 (ver Anexo A4 "Análisis de Estabilidad")

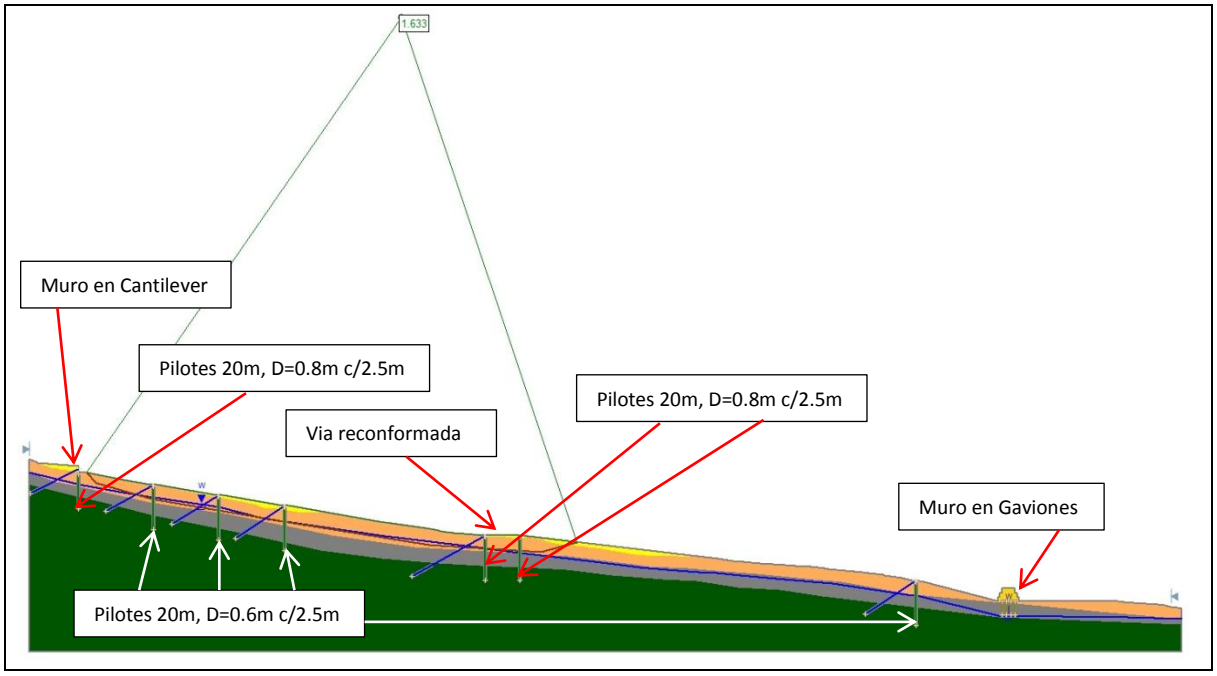



***Figura 5. 12.*** *Análisis de Estabilidad condición con obras Sección 1 (Análisis Falla Traslacional)*



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

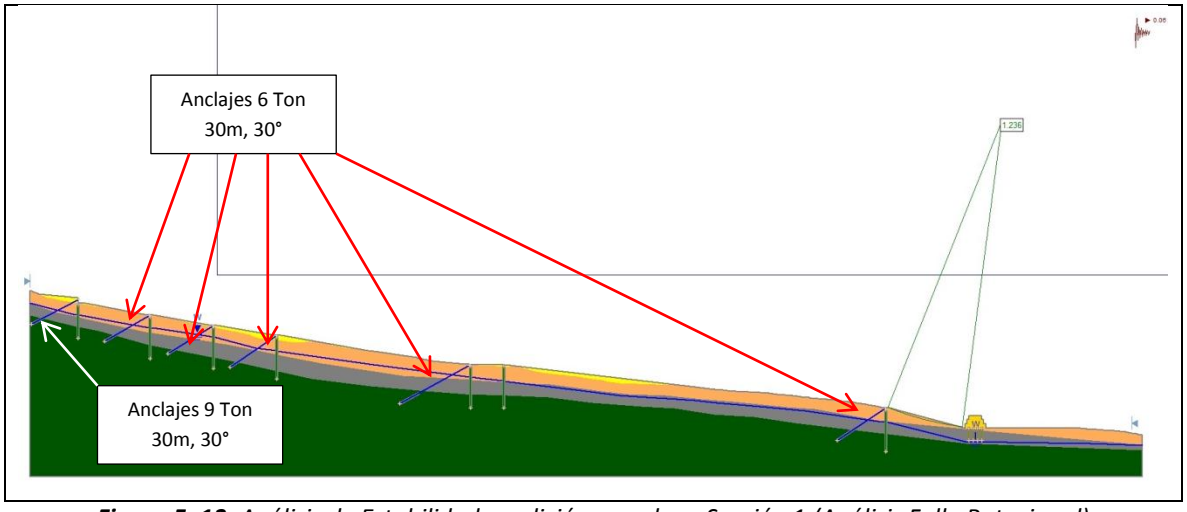



***Figura 5. 13.*** *Análisis de Estabilidad condición con obras Sección 1 (Análisis Falla Rotacional)*

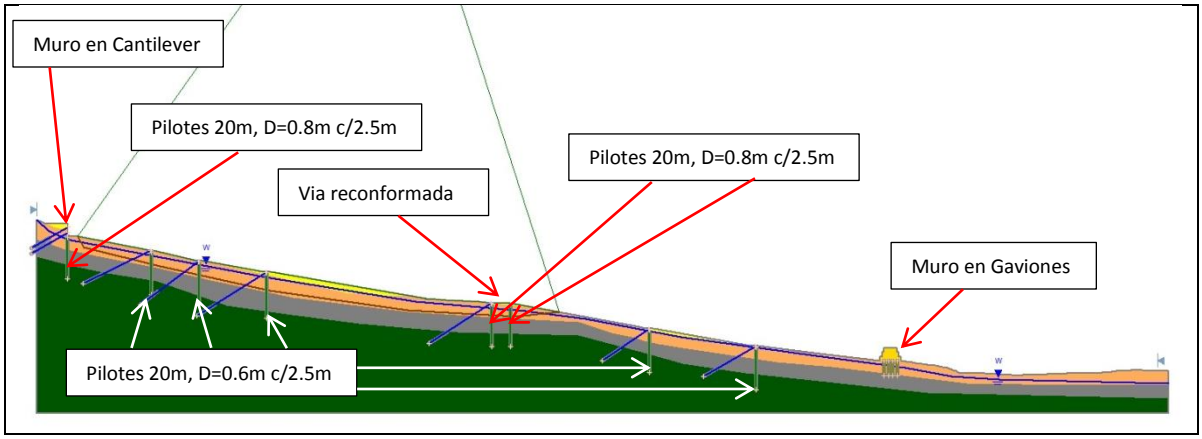



***Figura 5. 14.*** *Análisis de Estabilidad condición con Obras Sección 6. (Análisis Falla Traslacional)*

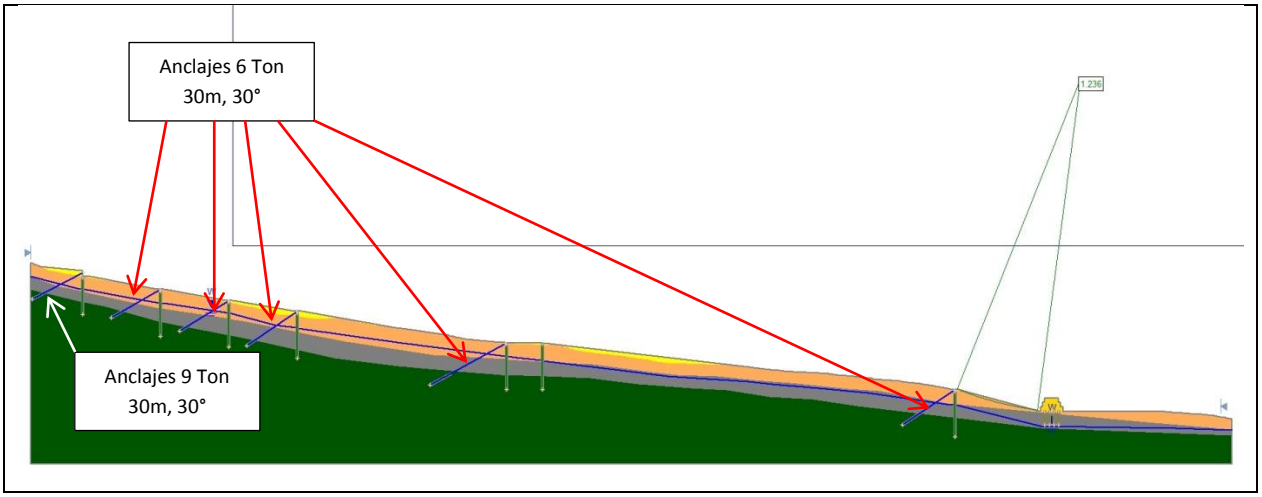



***Figura 5. 15.*** *Análisis de Estabilidad condición con Obras Sección 6. (Análisis Falla Rotacional)*



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

Es evidente la necesidad de controlar el agua subsuperficial de la zona, debido al fuerte impacto en la estabilidad de la ladera, por tanto es necesario complementar las obras propuestas con filtros en forma de espina de pescado a 4m de profundidad, donde su eje central será el filtro bajo el canal principal.

***Tabla 5. 2*** *Fatores de Sdeguridad*

| SECCION | FS ACTUAL | FS CON OBRAS | |
|---|---|---|---|
| | | Rotacional | Traslacional |
| 1 | 0.485 | 1.236 | 1.633 |
| 2 | 0.480 | 1.204 | 1.589 |
| 3 | 0.477 | 1.272 | 1.475 |
| 4 | 0.548 | 1.270 | 1.618 |
| 5 | 0.503 | 1.234 | 1.506 |
| 6 | 0.465 | 1.236 | 1.572 |
| 7 | 0.465 | 1.242 | 1.539 |
| 8 | 0.530 | 1.216 | 1.657 |



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

# 6. DISEÑO DE OBRAS CORRECTIVAS

En este capítulo se presenta el diseño de las diferentes obras de mitigación propuestas para disminuir el problema de inestabilidad en el sector. Estas medidas incluyen obras como:

- Muro en cantilever anclado
- Pilotes en concreto reforzado
- Estructuras para el control de aguas superficiales

Es importante destacar que para garantizar el adecuado comportamiento de la ladera, es necesario que la totalidad de las obras de estabilización y mitigación propuestas sean construidas, ya que las obras han sido diseñadas para que trabajen monoliticamente. En el Anexo A5 “Planos de Diseño” se presentan gráficamente las obras y medidas de mitigación propuestas, para cada una de las zonas susceptibles a fenómenos de remoción en masa que puede comprometer la vía.

## 6.1. MEDIDAS CORRECTIVAS

### 6.1.1 Movimientos de Tierra

Los movimientos de tierra para el talud inestable, corresponden a cortes de poco volumen en la parte superior del talud, hasta la parte baja, realizados con el propósito de perfilar el terreno y evitar que se presenten taludes de mayores angulos de inclinación de 10°, ya que las propiedades mecánicas del material no lo permite.

En general se propone terracear con taludes cuya máxima inclinación sea de 10° sobre el suelo arcilloso y bermas cuyo ancho fluctúa entre los 3.0 y 3.5 metros. Con este movimiento de tierras se pretende adicionalmente generar una descarga importante de la parte superior del talud.

### 6.1.2 Rellenos con Material seleccionado

El material de relleno para el espaldar de los muros, deberá cumplir lo establecido en la especificación INVIAS Artículo 220. Algunos de estos requisitos se muestran en la Tabla 6. 1.



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

***Tabla 6. 1.*** *Requisitos de los Materiales*[8]

| SUELOS | SELECCIONADOS | ADECUADOS | TOLERABLES |
|---|---|---|---|
| ***Aplicación*** | Corona, Núcleo, Cimiento | Corona, Núcleo, Cimiento | Núcleo, Cimiento |
| ***Tamaño máximo*** | 75 mm | 100 mm | 150 mm |
| ***Pasa tamiz de 75 μm (No. 200)*** | ≤ 25% en peso | ≤ 35% en peso | ≤ 35% en peso |
| ***C.B.R de laboratorio*** | ≥ 10 | ≥ 5 | ≥ 3 |
| ***Expansión en prueba C.B.R.*** | | | |
| ***Contenido de materia orgánica*** | 0% | < 2% | < 2% |
| ***Límite líquido*** | | | |
| ***Índice plástico*** | 0% | < 1% | < 2% |
| | <30 | <40 | <40 |
| | <10 | <15 | - |

## 6.2. ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN

### 6.2.1 Muro en Cantilever

Se propone la construcción de un muro en voladizo de concreto reforzado con las dimensiones presentadas en la Tabla 6. 2 y la Figura 6. 1. Dentro del diseño de este tipo de estructuras es necesario analizar el sistema ante posibles desplazamiento a lo largo de la superficie, por volteo del muro y por falla por capacidad portante, a continuación se presenta un resumen de los métodos utilizados para dicho análisis.

***Tabla 6. 2.*** *Dimensiones y variables de diseño Muro en Cantilever*

| ID | VARIABLE | VALOR | ID | VARIABLE | VALOR |
|---|---|---|---|---|---|
| H | Altura del muro [m] | 3.50 | α | Inclinacion suelo de relleno [°] | 5.00 |
| Ltalon | Longitud del talon [m] | 1.50 | $\gamma_1$ | Peso unitario Suelo de relleno | 21.00 |
| Lpunta | Longitud de la punta [m] | 0.80 | $\phi_1$ | Angulo de friccion Suelo de relleno [°] | 30.00 |
| hs | Espesor cresta [m] | 0.30 | $c'_1$ | Cohesion Suelo de relleno [KN/m²] | 0.00 |
| hi | Espesor base [m] | 0.50 | $\gamma_2$ | Peso unitario Suelo de soporte | 18.58 |
| t | Espesor placa [m] | 0.50 | $\phi_2$ | Angulo de friccion Suelo de soporte [°] | 10.50 |
| D | Profundidad de cimentacion [m] | 0.00 | $c'_2$ | Cohesion Suelo de soporte [KN/m²] | 0.04 |

[8] Tomado de la INVIAS Artículo 220 Tabla No 220.1



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

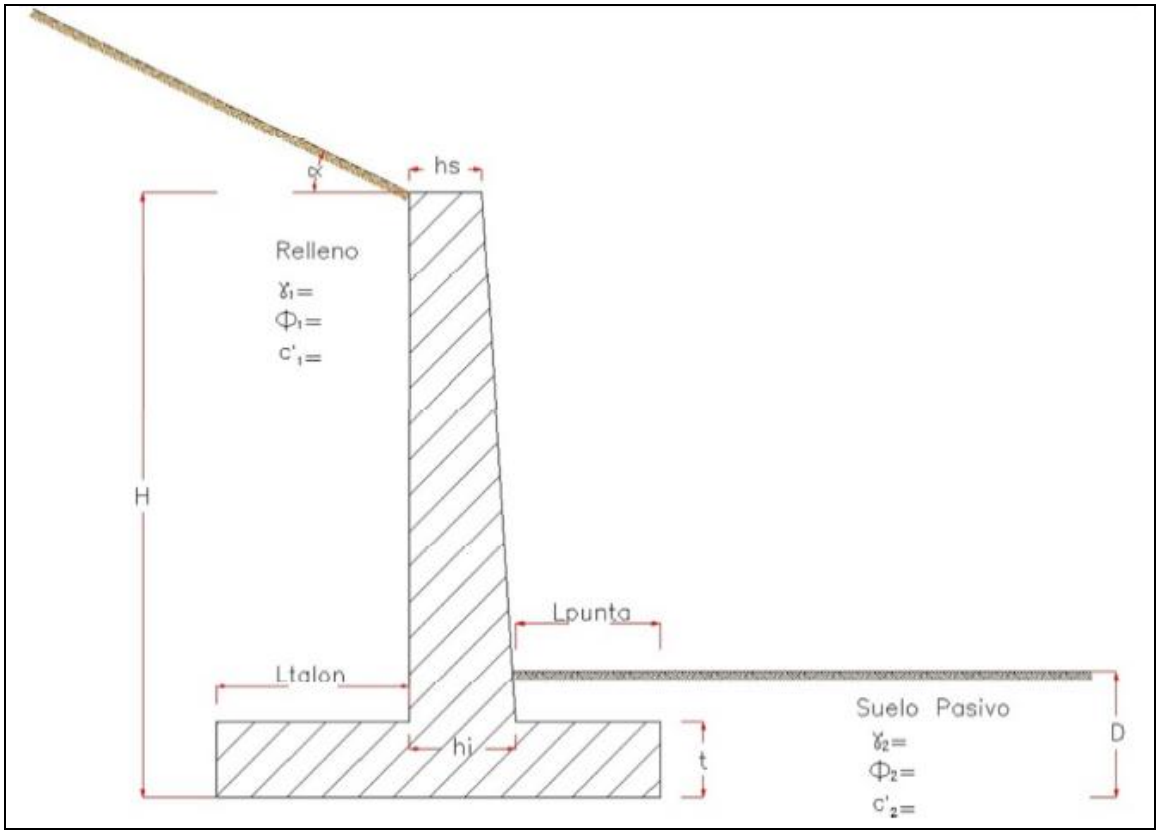



***Figura 6. 1.*** *Muro en voladizo Típico*

Para el análisis de estabilidad del muro se tuvo en cuenta la existencia de un sismo con aceleración horizontal de 0.1g, lo que modifica el ángulo de la superficie crítica que genera los empujes sobre el muro.

- **<u>Revisión de la estabilidad Local</u>**

Para la revisión de la estabilidad de los muros en voladizo se usara la teoría de la presión de Rankine, en donde se supondrá que la condición activa de Rankine existe a lo largo del plano vertical generado desde la pata del muro hasta la superficie.

En el análisis de la estabilidad del muro, se tomara en consideración la fuerza activa de Rankine $Pa_{Rankine}$, el peso del suelo $Ws$ arriba del talón y el peso del concreto $Wc$.

$$Pa = \frac{1}{2}\gamma_1 H^2 Ka - 2c_1 H\sqrt{Ka} \quad \text{y} \quad Pp = \frac{1}{2}\gamma_2 D^2 Kp + 2c_2 D\sqrt{Kp}$$

$$Ka = tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\emptyset_1}{2}\right) \quad \text{y} \quad Kp = tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\emptyset_2}{2}\right)$$



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

- **Revisión por volteo respecto a la punta**

El valor mínimo deseable para el factor de seguridad con respecto al volteo es de 2 o 3 y se calcula con la siguiente expresión:

$$Fs_{volteo} = \frac{\sum Momentos\ resistentes}{Pa * \cos(\alpha) * \frac{H'}{3} - Mv}$$

Dónde:

$$Mv = Pv * B = Pa * sen(\alpha) * B$$

- **Revisión por falla de deslizamiento a lo largo de la base**

$$Fs_{deslizamiento} = \frac{\sum F_R}{\sum F_D}$$

Dónde:

$$\sum F_R = \sum F.horizontales\ resistentes = \left(\sum V\right) tan\delta + Bc_a + Pp$$
$$\sum F_D = \sum F.horizontales\ de\ empuje = Pa * \cos(\alpha)$$

El ángulo de fricción entre el suelo y la losa de base $\delta$ se usara como $\delta = k_1 \emptyset_2$ y a la adhesión entre el suelo y la losa de base $c_a$ como $c_a = k_2 c_2$. En este caso se tomará

$$k_1 = k_2 = \frac{2}{3}$$

Se requiere un factor de seguridad de 1.5 contra deslizamiento.

- **Revisión por falla de capacidad de carga de la base**

$$Fs_{capacidad\ de\ carga} = \frac{qu}{qmax}$$

Dónde:

$$q_{max} = \frac{\sum V}{B * 1}\left(1 + \frac{6e}{B}\right)$$
$$q_{min} = \frac{\sum V}{B * 1}\left(1 - \frac{6e}{B}\right)$$



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

$$e = \frac{B}{2} - CE = \frac{B}{2} - \left(\frac{\sum M_R - \sum M_o}{\sum V}\right)$$

Donde los momentos fueron calculados respecto al punto C y $\sum M_o$ corresponde a la suma de los momentos de las fuerzas que tienden a voltear el muro respecto al punto C.

La carga última se calcula como:

$$q_u = c_2 N_c F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qd} F_{qi} + 1/2 \gamma_2 B' N_\gamma F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

Dónde:

$$q = \gamma_2 * D$$
$$B' = B - 2e$$
$$F_{cd} = 1 + 0.4\frac{D}{B'}$$
$$F_{qd} = 1 + 2\tan(\emptyset_2)\left(1 - sen(\emptyset_2)\right)^2 \frac{D}{B'}$$
$$F_{\gamma d} = 1$$
$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\Psi^\circ}{90^\circ}\right)^2$$
$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\Psi^\circ}{\emptyset_2}\right)^2$$
$$\Psi = \tan^{-1}\left(\frac{Pa * cos(\alpha)}{\sum V}\right)$$

Generalmente se requiere un factor de seguridad de 3.

Después del análisis para cada uno de los casos evaluados, fue necesario aportar mayor resistencia al muro ya que el peso del material de relleno en el espaldón y las propiedades mecánicas del suelo de soporte del muro no brindan la seguridad necesaria a la estructura propuesta, por tanto se recomienda la construcción de una hilera de pilotes y una hilera de anclajes, los cuales serán mencionados posteriormente (ver Figura 6. 2). En el Anexo A6 “Diseño Estructural Muro en Cantilever”, se presenta el diseño estructural de la estructura propuesta, incluyendo planos constructivos.



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

| PREDIMENSIONAMIENTO | | | |
|---|---|---|---|
| DESCRIPCION | RECOMENDACION [m] | VALOR | UNIDAD |
| Altura del muro (H) | | 3.50 | m |
| Angulo de inclinacion espaldón | | 0.00 | ° |
| Profundidad (D) | > = 0.6 | 0.00 | m |
| Longitud Punta (Lp) | 0.1H | 0.80 | m |
| Longitud Talón (Lt) | | 1.50 | m |
| Espesor losa (t) | 0.1H | 0.50 | m |
| Espesor cresta muro (hs) | > = 0.3 | 0.30 | m |
| Espesor base muro (hi) | 0.1H | 0.50 | m |
| Angulo de inclinacion relleno (alfa) | | 5.00 | ° |
| Longitud de la base (B) | 0.5 - 0.7 H | 2.80 | m |

| PROPIEDADES MECÁNICAS SUELOS | | |
|---|---|---|
| DESCRIPCION | VALOR | UNIDAD |
| Peso Unitario suelo soporte (gamma 1) | 18.58 | KN/m³ |
| Angulo de fricción suelo de soporte (phi1) | 10.50 | ° |
| Cohesión suelo de soporte (c1) | 0.04 | KN/m² |
| Peso Unitario relleno (gamma 2) | 21.00 | KN/m³ |
| Angulo de fricción relleno (phi2) | 30.00 | ° |
| Cohesión relleno (c2) | 0.00 | KN/m² |

| | | |
|---|---|---|
| Peso Unitario suelo concreto (gamma c) | 24.00 | KN/m³ |
| Componente horizontal de la aceleracion del sismo | 0.10 | m/s² |
| Componente vertical de la aceleracion del sismo | 0.00 | m/s² |
| Constante angulo de fricción suelo - losa (k1) | 0.50 | adim |
| Constante adhesión suelo - losa (k2) | 0.67 | adim |

Kp= 1.45
Ka= 0.32
Pa= 44.33 KN/m
Pp= 0.00 KN/m

Ángulo de inclinación de la superficie de falla crítica
αAE= 30.45°

**REVISIÓN POR VOLTEO**

*APORTE DE SISTEMA DE ANCLAJE*

**F.S.= 6.86**

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A1= | 0.90 | m² | W1= | 21.60 | KN/m | X1= | 1.15 | m | M1= | 24.84 | KN-m |
| A2= | 0.30 | m² | W2= | 7.20 | KN/m | X2= | 0.93 | m | M2= | 6.72 | KN-m |
| A3= | 1.40 | m² | W3= | 33.60 | KN/m | X3= | 1.40 | m | M3= | 47.04 | KN-m |
| A4= | 4.50 | m² | W4= | 94.50 | KN/m | X4= | 2.05 | m | M4= | 193.73 | KN-m |
| A5= | 0.10 | m² | W5= | 2.07 | KN/m | X5= | 2.30 | m | M5= | 4.75 | KN-m |
| A6= | 8.99 | m² | Pv= | 3.86 | KN/m | Xv= | 1.30 | m | Mv= | 5.02 | KN-m |
| | | | Ph= | 44.16 | KN/m | Xh= | 1.78 | m | Mh= | 78.69 | KN-m |

**DESLIZAMIENTO A LO LARGO DE LA BASE**

*APORTE DE SISTEMA DE ANCLAJE*

**F.S.= 15.00**

d= 5.25 grad  c= 0.03 m²  Wtotal= 158.97 KN/m

**REVISIÓN POR CAPACIDAD PORTANTE**

*APORTE DEL SISTEMA DE CIMENTACIÓN*

**F.S.= 0.01**

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| e= | 0.12 | m | Q talón= | 71.43 | KN/m² | q= | 0.00 | KN/m² | |
| | | | Q punta= | 42.12 | KN/m² | B'= | 2.56 | m | |
| | | | | | | | | | Y= 15.53 |
| | | | Q u= | 0.62 | KN/m² | Fcd= | 1.00 | | Fyi= 0.23 |
| | | | | | | Fqd= | 1.00 | | Nq= 2.59 |
| | | | | | | Fyd= | 1.00 | | Nc= 8.57 |
| | | | | | | Fci=Fqi= | 0.68 | | Ny= 1.33 |

***Figura 6. 2.*** *Resultados de análisis de estabilidad para el Muro en Cantilever*



C.I.AMBIENTAL LTDA . INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL
Diagonal 167 No. 12 - 69 Of.5 . Telefax: 6780951 Celular: 3168766310/3175030960
http://www.ciambiental.com - info@ciambiental.com
Bogotá D.C., Colombia

### 6.2.2 Pilotes

Como se menciono anteriormente, el muro en cantilever propuesto debe ser cimentado en una hilera de pilotes; adicionalmente, con el fin de cortar las fallas traslacionales que se presentan en el sector, se propone hileras de pilotes en las diferentes bermas según la configuración final del terreno, posterior a el movimiento de tierras propuesto. En la Figura 6. 3 se indican las diferentes hileras de pilotes propuestas.

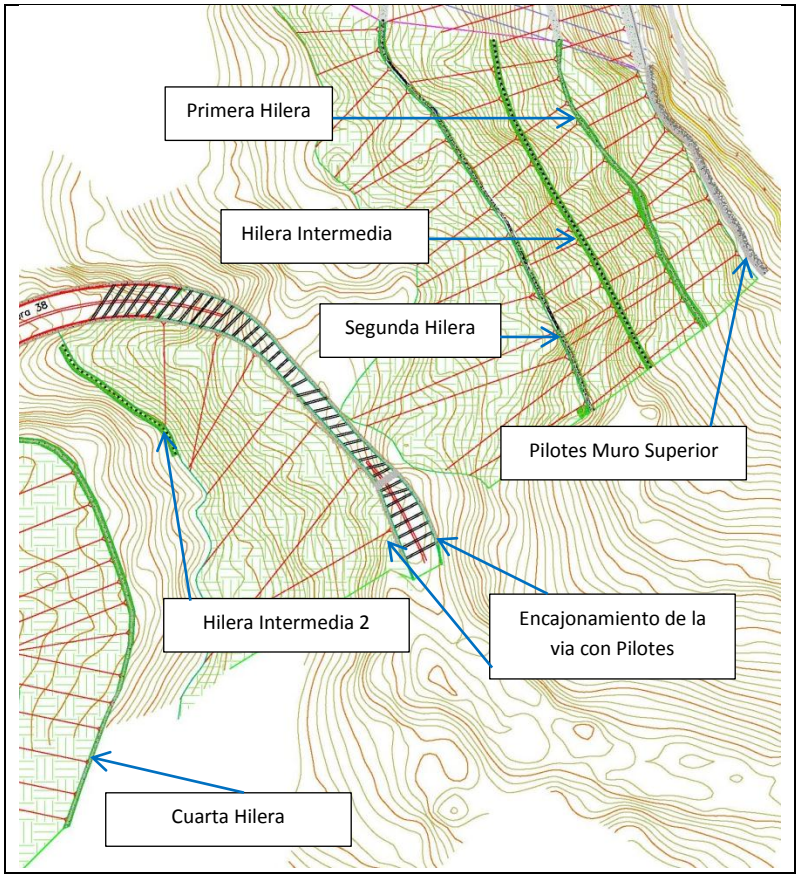



***Figura 6. 3.*** *Localización Hileras de Pilotes*

- **<u>Muro Superior</u>**

La parte alta del talud, el muro en voladizo va cimentado sobre pilotes los cuales se encuentran amarrados por una viga cabezal ubicada bajo el muro, haciendo parte de su base; esta estructura compuesta es en concreto reforzado, los pilotes propuestos presentan un diámetro de 0.8m, una longitud 16 m de longitud y con separaciones de 2.5 metros. Para el diseño de los pilotes se tuvieron en cuenta las cargas laterales sobre los mismos y la resistencia presentada por el suelo, el modulo de balasto, los cuales se presentan en la Figura 6. 4 y en la Figura 6. 5. En la Figura 6. 6 se presenta un perfil ldel análisis realizado

Pilotes Muro Superior.txt

```
*******************************************************************************
*----------------Calculo de Presiones Laterales Sobre Pilotes-------------------*
*                                                                               *
*  Programa desarrollado por:                                                   *
*-------------------------------Ing. Juan lopera--------------------------------*
*******************************************************************************

**************************Parametros del Sistema*********************************
Gamma estrato 1 (kN/m3)                              = 19.110
Cohesion estrato 1 (kN/m2)                           = 2.920
Angulo de friccion interna estrato 1 (grados)        = 10.000
Gamma estrato 2 (kN/m3)                              = 18.032
Cohesion estrato 2 (kN/m2)                           = 4.120
Angulo de friccion interna estrato 2 (grados)        = 25.760
Gamma estrato 3 (kN/m3)                              = 19.110
Cohesion estrato 3 (kN/m2)                           = 0.000
Angulo de friccion interna estrato 3 (grados)        = 0.000
Dimensiones del Pilote:
L(m)                                                 = 16.000
Diamentro(m)                                         = 0.800
Deltah modelo(m)                                     = 1.000
Separaci?n de pilotes                                = 1.700


phi(gra)-C(kN/m2)-Gamma(kN/m)-Z(m)-P(kN/m2)


10.0      2.9       19.1      1.0       24.3
10.0      2.9       19.1      2.0       42.4
10.0      2.9       19.1      3.0       60.4
10.0      2.9       19.1      4.0       78.5
10.0      2.9       19.1      5.0       96.6
25.8      4.1       18.0      6.0       139.6
25.8      4.1       18.0      7.0       160.2
25.8      4.1       18.0      8.0       180.9
25.8      4.1       18.0      9.0       201.6
25.8      4.1       18.0      10.0       222.2
25.8      4.1       18.0      11.0       242.9
0.0       0.0       19.1      12.0      301.1
0.0       0.0       19.1      13.0      326.1
0.0       0.0       19.1      14.0      351.2
0.0       0.0       19.1      15.0      376.3
0.0       0.0       19.1      16.0      401.4
```

***Figura 6. 4.*** *Cargas Laterales Pilotes Muro Superior*

CI AMBIENTAL Ltda. - Ingeniería Geotécnica y Ambiental -

**MODULO DE BALASTO**

| ESTRATO | Φ [°] | c [KN/m²] | γ [KN/m³] | PROFUNDIDADES | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | DE | HASTA |
| 1 | 10.00 | 2.92 | 19.11 | 0.00 | 6.00 |
| 2 | 25.76 | 4.12 | 18.03 | 6.00 | 12.00 |
| 3 | 45.30 | 43.50 | 19.11 | 12.00 | 16.00 |

| | |
|---|---|
| Diámetro de los Pilotes [m] | 0.80 |
| Longitud de los Pilotes [m] | 16.00 |

| Z [m] | Ks [KN/m³] | K [KN/m] |
|---|---|---|
| 0.00 | 1349.00 | 791.49 |
| 1.00 | 3238.17 | 2442.98 |
| 2.00 | 4020.69 | 3192.27 |
| 3.00 | 4621.13 | 3684.34 |
| 4.00 | 5127.33 | 4093.84 |
| 5.00 | 5573.31 | 4602.81 |
| 6.00 | 7100.55 | 6588.06 |
| 7.00 | 15434.91 | 11696.98 |
| 8.00 | 18887.12 | 15002.59 |
| 9.00 | 21536.08 | 17173.43 |
| 10.00 | 23769.27 | 18979.99 |
| 11.00 | 25736.74 | 60891.40 |
| 12.00 | 329969.22 | 237832.16 |
| 13.00 | 438127.59 | 342054.37 |
| 14.00 | 482928.25 | 384952.74 |
| 15.00 | 517305.00 | 413124.56 |
| 16.00 | 546285.95 | 433164.63 |

*Desarrollado por: Ing. Juan Camilo Lopera - Ing. Oscar Iván Galvis Mora*

***Figura 6. 5.*** *Modulos de Balasto Pilotes Muro Superior*

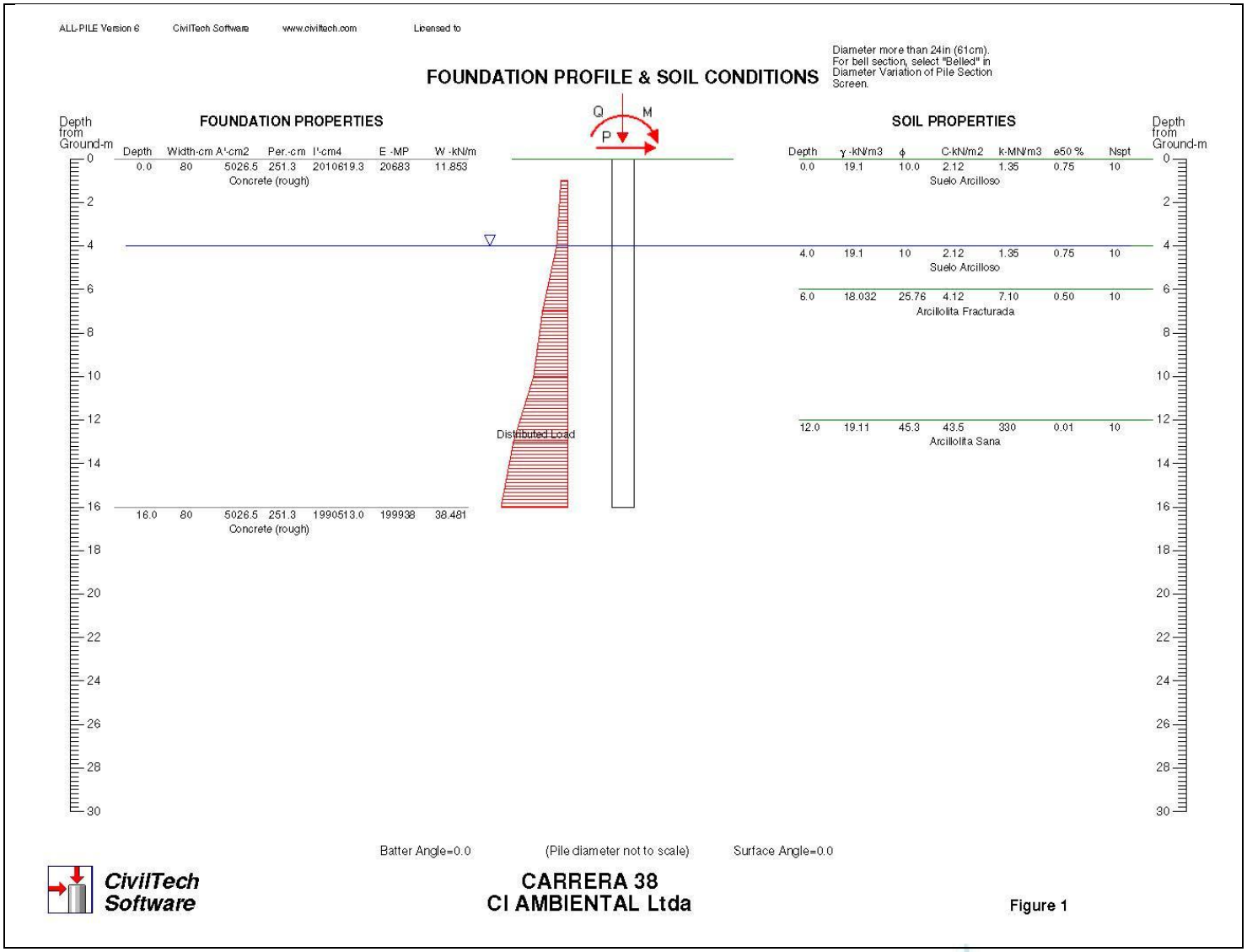
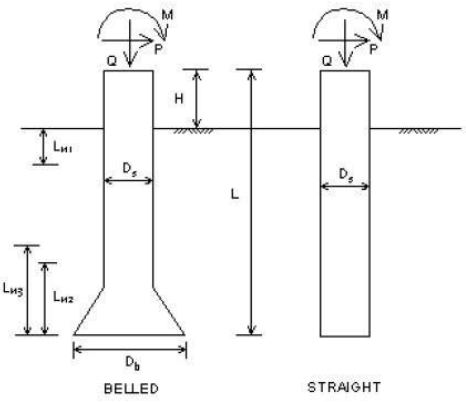



***Figura 6. 6.*** *Esquema de Análisis de Pilotes del Muro Superior*

Con esta hileras de pilotes, lo que se pretende es brindar un soporte adicional a la estructura, de tal forma que no se vea afectada por los empujes activos del suelo; adicionalmente, el diseño de dichos pilotes se realiza ante esfuerzos cortantes, buscando con esto una interrupción de las superficies de falla generadas, aumentando la efectividad de las estructuras propuestas; la longitud de 16 m garantizan la estabilidad de la estructura, permitiendo que los pilotes queden embebidos en la arcillolita inalterada, garantizando su empotramiento. En la Figura 6. 7 y en la Figura 6. 8 se observan los análisis y revisión del pilote sujeto a carga vertical y lateral, respectivamente. Es importante destacar sin embargo, que debido a las fluctuaciones que se presentan encuanto a la profundidad de la roca sana, en algunos sectores será necesario incrementar la longitud de los pilotes.

## VERTICAL ANALYSIS

Figure 1




Drilled Shaft (dia >24 in. or 61 cm)

**Loads:**
Load Factor for Vertical Loads= 1.0
Load Factor for Lateral Loads= 1.0
Loads Supported by Pile Cap= 0 %
Shear Condition: Static

Vertical Load, Q= 159.0 -kN
Shear Load, P= 0.0 -kN
Slope Restain St= 0.00 -cm/-cm

**Profile:**
Pile Length, L= 16.0 -m
Top Height, H= 0.000 -m
Slope Angle, As= 0.0
Batter Angle, Ab= 0.0

Fixed Head Condition
Nocontributing Zone, Ln1=Ln2=Ln3=0.

**Soil Data:**

| Depth -m | Gamma -kN/m3 | Phi | C -kN/m2 | K -MN/m3 | e50 or Dr % | Nspt |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.000 | 19.1 | 10.0 | 2.12 | 1.35 | 0.75 | 10 |
| 4 | 19.1 | 10 | 2.12 | 1.35 | 0.75 | 10 |
| 6 | 18.032 | 25.76 | 4.12 | 7.10 | 0.50 | 10 |
| 12 | 19.11 | 45.3 | 43.5 | 330 | 0.01 | 10 |

**Pile Data:**

| Depth -m | Width -cm | Area -cm2 | Per. -cm | I -cm4 | E -MP | Weight -kN/m |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.0 | 80 | 5026.5 | 251.3 | 2010619.3 | 20683 | 11.853 |
| 16.0 | 80 | 5026.5 | 251.3 | 1990513.0 | 199938 | 38.481 |

Vertical capacity:
Weight above Ground= 0.00 Total Weight= 130.58-kN *Soil Weight is not included
Side Resistance (Down)= 2625.023-kN Side Resistance (Up)= 1726.652-kN
Tip Resistance (Down)= 35834.465-kN Tip Resistance (Up)= 0.000-kN
Total Ultimate Capacity (Down)= 38459.488-kN Total Ultimate Capacity (Up)= 1857.228-kN
Total Allowable Capacity (Down)= 19667.248-kN Total Allowable Capacity (Up)= 993.902-kN
OK! Qallow > Q

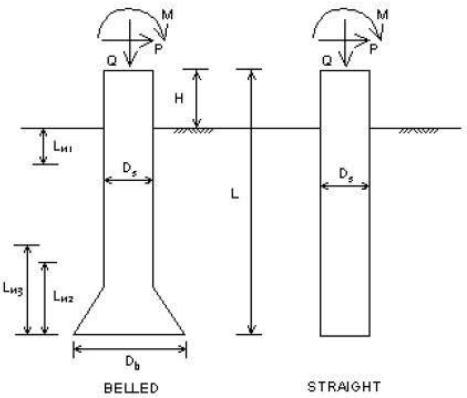
Settlement Calculation:
At Q= 158.97-kN Settlement= 0.03087-cm
At Xallow= 2.54-cm Qallow= 9380.99023-kN

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.

***Figura 6. 7.*** *Análisis por carga vertical Pilotes Muro Superior*

## LATERAL ANALYSIS

Figure 2




Drilled Shaft (dia >24 in. or 61 cm)

**Loads:**
Load Factor for Vertical Loads= 1.0
Load Factor for Lateral Loads= 1.0
Loads Supported by Pile Cap= 0 %
Shear Condition: Static

Vertical Load, Q= 159.0 -kN
Shear Load, P= 0.4 -kN
Slope Restain St= 0.00 -cm/-cm

**Profile:**
Pile Length, L= 16.0 -m
Top Height, H= 0.000 -m
Slope Angle, As= 0.0
Batter Angle, Ab= 0.0

Fixed Head Condition
Nocontributing Zone, Ln1=Ln2=Ln3=0.

**Soil Data:**

| Depth -m | Gamma -kN/m3 | Phi | C -kN/m2 | K -MN/m3 | e50 or Dr % | Nspt |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.000 | 19.1 | 10.0 | 2.12 | 1.35 | 0.75 | 10 |
| 4 | 19.1 | 10 | 2.12 | 1.35 | 0.75 | 10 |
| 6 | 18.032 | 25.76 | 4.12 | 7.10 | 0.50 | 10 |
| 12 | 19.11 | 45.3 | 43.5 | 330 | 0.01 | 10 |

**Pile Data:**

| Depth -m | Width -cm | Area -cm2 | Per. -cm | I -cm4 | E -MP | Weight -kN/m |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.0 | 80 | 5026.5 | 251.3 | 2010619.3 | 20683 | 11.853 |
| 16.0 | 80 | 5026.5 | 251.3 | 1990513.0 | 199938 | 38.481 |

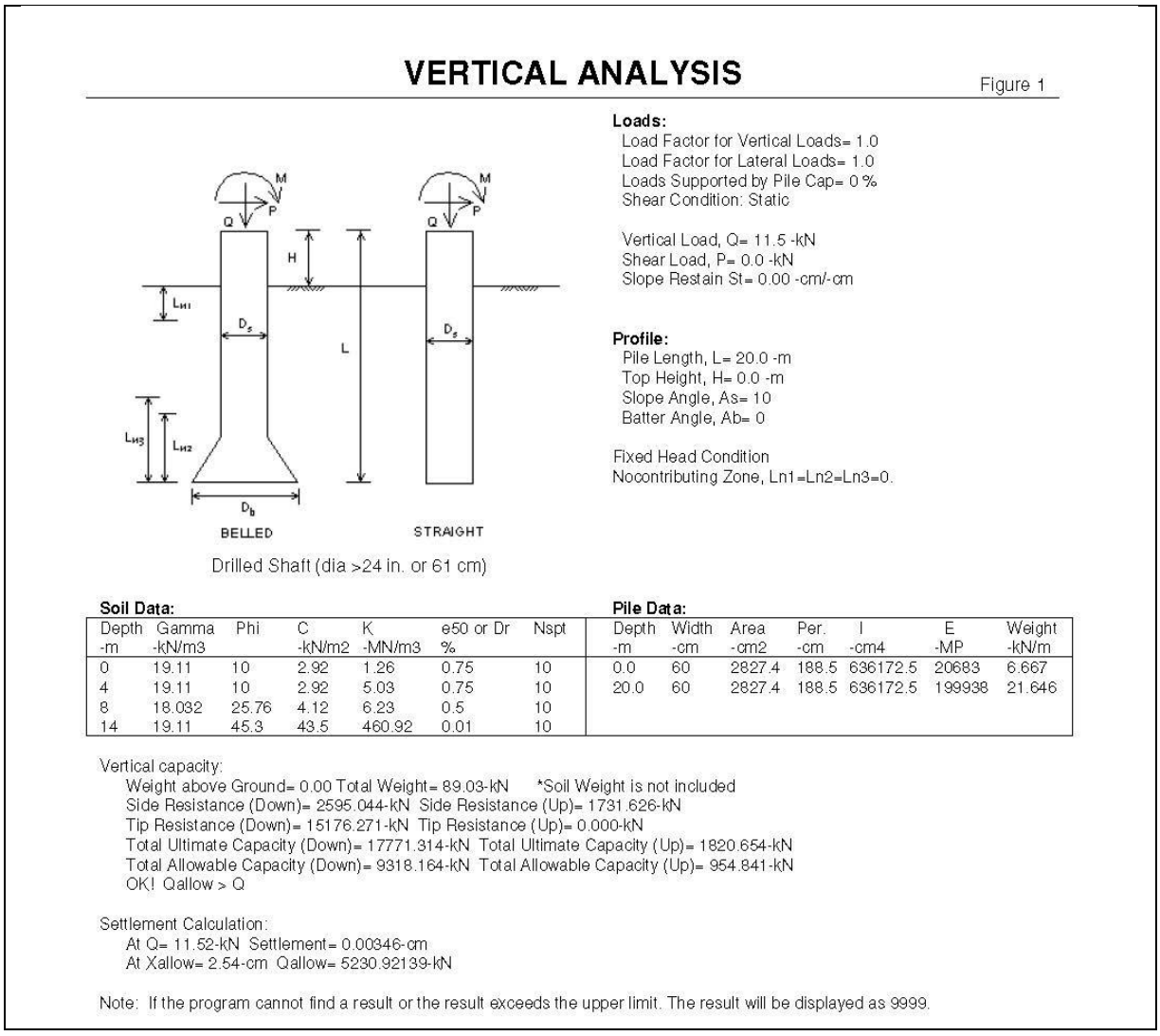
Single Pile Lateral Analysis:
Top Deflection, yt= 0.00256-cm
Max. Moment, M= 1.18-kN-m
Top Deflection Slope, St= 0.00000
OK! Top Deflection, 0.0026-cm is less than the Allowable Deflection= 2.54-cm

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.
The Max. Moment calculated by program is an internal force from the applied load conditions. Structural engineer has to check whether the pile has enough capacity to resist the moment with adequate factor of safety. If not, the pile may fail under the load conditions.

***Figura 6. 8.*** *Análisis por carga lateral Pilotes Muro Superior*

- **Hileras de Pilotes**

Bajo el muro en cantilever propuesto, es necesario perfilar el terreno con una pendiente de 10°, hasta llegar a la cota 111.35 msnm, donde se conformará una berma de 3.0m de longitud. En esta berma se propone la construcción de una hilera de pilotes en concreto reforzado de D=0.60m, longitud de 20m (buscando empotramiento en la arcillolita inalterada), separados 2.5m (distancia entre ejes). En la parte superior de los pilotes se debe construir una viga cabezal que amarre la hilera de pilotes de tal forma que estos trabajen monolíticamente. Adicionalmente, dicha viga debe soportar las cargas laterales debidas a momentos generados en los pilotes, por tanto dicha viga debe estar anclada a la roca (Arcillolita Inalterada), mediante una hilera de anclajes de 30m de longitud, a 30° respecto a la horizontal y 6 Ton de tensión (ver Figura 6. 9)



VERTICAL ANALYSIS

Figure 1



Drilled Shaft (dia >24 in. or 61 cm)

**Loads:**
Load Factor for Vertical Loads= 1.0
Load Factor for Lateral Loads= 1.0
Loads Supported by Pile Cap= 0 %
Shear Condition: Static

Vertical Load, Q= 11.5 -kN
Shear Load, P= 0.0 -kN
Slope Restain St= 0.00 -cm/-cm

**Profile:**
Pile Length, L= 20.0 -m
Top Height, H= 0.0 -m
Slope Angle, As= 10
Batter Angle, Ab= 0

Fixed Head Condition
Nocontributing Zone, Ln1=Ln2=Ln3=0.

**Soil Data:**

| Depth -m | Gamma -kN/m3 | Phi | C -kN/m2 | K -MN/m3 | e50 or Dr % | Nspt |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 19.11 | 10 | 2.92 | 1.26 | 0.75 | 10 |
| 4 | 19.11 | 10 | 2.92 | 5.03 | 0.75 | 10 |
| 8 | 18.032 | 25.76 | 4.12 | 6.23 | 0.5 | 10 |
| 14 | 19.11 | 45.3 | 43.5 | 460.92 | 0.01 | 10 |

**Pile Data:**

| Depth -m | Width -cm | Area -cm2 | Per. -cm | I -cm4 | E -MP | Weight -kN/m |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.0 | 60 | 2827.4 | 188.5 | 636172.5 | 20683 | 6.667 |
| 20.0 | 60 | 2827.4 | 188.5 | 636172.5 | 199938 | 21.646 |

Vertical capacity:
Weight above Ground= 0.00 Total Weight= 89.03-kN *Soil Weight is not included
Side Resistance (Down)= 2595.044-kN Side Resistance (Up)= 1731.626-kN
Tip Resistance (Down)= 15176.271-kN Tip Resistance (Up)= 0.000-kN
Total Ultimate Capacity (Down)= 17771.314-kN Total Ultimate Capacity (Up)= 1820.654-kN
Total Allowable Capacity (Down)= 9318.164-kN Total Allowable Capacity (Up)= 954.841-kN
OK! Qallow > Q

Settlement Calculation:
At Q= 11.52-kN Settlement= 0.00346-cm
At Xallow= 2.54-cm Qallow= 5230.92139-kN

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.

***Figura 6. 9.*** *Análisis por carga lateral Pilotes Primera Hilera*

En el Anexo A7 "Cargas y Diseño Pilotes", se presenta la totalidad de las cargas de diseño, modulos de balasto y análisis verticales y laterales para cada una de las hileras propuestas. El comportamiento de las hileras de pilotes son similares pero solamente se ve modificado en a las profundidades de los diferentes estratos y la cota a la que se deben perforar(las dimensiones son las mismas), debido a esto, en la Tabla 6. 3 se presentan las cotas a las cuales se deben hacer las perforaciones y las dimensiones de las estructuras; en la tabla se observan unas columnas de las secciones, las cuales son las secciones que se ven afectadas por la obra propuesta (ver Figura 6. 3).

***Tabla 6. 3.*** *Hileras de Pilotes*

| ID | SECCIONES | | | | | | | | COTA | DIAMETRO | LONGITUD | VIGA CABEZAL | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | [msnm] | [m] | [m] | b [m] | h [m] |
| Primera Hilera | x | x | x | x | x | x | x | x | 111.35 | 0.60 | 20.00 | 0.80 | 0.60 |
| Hilera Intermedia | x | x | x | x | x | x | x | x | 106.52 | | | | |
| Segunda Hilera | x | x | x | x | x | x | x | x | 101.67 | | | | |
| Hilera Intermedia 2 | | | | | | x | x | x | 74.71 | | | | |
| Tercera Hilera | x | x | x | x | x | x | x | x | 66.97 | | | | |

- **<u>Pilotes de encajonamiento de la Via</u>**

La Carrera 38 se vio afectada por el deslizamiento ocurrido hace un año, a consecuencia de fuertes lluvias que se desataron sobre la ciudad de Barranquilla. Debido a que esta es una importante vía, es necesaria la recuperación de la misma, para la lo cual se propone la construcción de una hilera doble de pilotes. La distribución de estas dos hileras es la siguiente:

En la parte alta del talud, con las obras propuestas se busca estabilizar el deslizamiento disminuyendo las cargas que pueden llegar hasta la vía. La primera hilera por un lado protegerá la vía de eventuales empujes de la parte superior, mientras que la segunda hilera, protegerá la vía ante eventuales desconfinamientos del terreno.

Con las obras anteriores no se evitarían los deslizamiento en la parte baja de la via, simplemente se evitaran los daños en la via en el eventual caso de producirse un fenómeno de remosion en masa.

Las hileras de pilotes propuestas para el encajonamiento de la via son pilotes de 0.80m de diámetro, 20m de longitud, en concreto reforzado, separados 2.5m entre ejes, (ver Figura 6. 12 a Figura 6. 14); con el fin de evitar el cabeceo de los pilotes y el trabajo monolítico de la hilera de pilotes, deben ir unidas con una viga cabezal de dimensiones 1.1 X 0.6 m.

Adicionalmente, con el fin de distribuir las posibles cargas generadas por el movimiento del suelo en la zona, las dos hileras de pilotes propuestas iran conectadas por medio de vigas transversales, de tal forma que se genere la resistencia por medio de un sistema aporticado; aunque buscando una mayor seguridad ante los posibles movimientos de la parte superior del sistema aporticado, este irá anclado en roca por medio de un anclaje de 30m de longitud a 30° respecto la horizontal y 6 Ton de tensión.

En la Figura 6. 10 y en la Figura 6. 11 se presentan las cargas y modulos de balasto calculados para los pilotes de la via.

Pilotes Via.txt

```
*******************************************************************************
*----------------Calculo de Presiones Laterales Sobre Pilotes-------------------*
*                                                                               *
*  Programa desarrollado por:                                                   *
*--------------------------------Ing. Juan lopera-------------------------------*
*******************************************************************************

*************************Parametros del Sistema********************************
Gamma estrato 1 (kN/m3)                              = 19.110
Cohesion estrato 1 (kN/m2)                           = 2.920
Angulo de friccion interna estrato 1 (grados)        = 10.000
Gamma estrato 2 (kN/m3)                              = 18.032
Cohesion estrato 2 (kN/m2)                           = 4.120
Angulo de friccion interna estrato 2 (grados)        = 25.760
Gamma estrato 3 (kN/m3)                              = 19.110
Cohesion estrato 3 (kN/m2)                           = 43.500
Angulo de friccion interna estrato 3 (grados)        = 0.000
Dimensiones del Pilote:
L(m)                                                 = 20.000
Diamentro(m)                                         = 0.800
Deltah modelo(m)                                     = 1.000
Separaci?n de pilotes                                = 1.700

phi(gra)-C(kN/m2)-Gamma(kN/m)-Z(m)-P(kN/m2)

10.0      2.9      19.1      1.0      24.3
10.0      2.9      19.1      2.0      42.4
10.0      2.9      19.1      3.0      60.4
25.8      4.1      18.0      4.0      98.2
25.8      4.1      18.0      5.0      118.9
25.8      4.1      18.0      6.0      139.6
25.8      4.1      18.0      7.0      160.2
25.8      4.1      18.0      8.0      180.9
25.8      4.1      18.0      9.0      201.6
25.8      4.1      18.0      10.0     222.2
25.8      4.1      18.0      11.0     242.9
0.0       43.5     19.1      12.0     304.1
0.0       43.5     19.1      13.0     329.1
0.0       43.5     19.1      14.0     354.2
0.0       43.5     19.1      15.0     379.3
0.0       43.5     19.1      16.0     404.4
0.0       43.5     19.1      17.0     429.5
0.0       43.5     19.1      18.0     454.6
0.0       43.5     19.1      19.0     479.7
0.0       43.5     19.1      20.0     504.8
```

***Figura 6. 10.*** *Cargas laterales Pilotes Via*

CI AMBIENTAL Ltda. - Ingeniería Geotécnica y Ambiental -

**MODULO DE BALASTO**

| ESTRATO | Φ [°] | c [KN/m²] | γ [KN/m³] | PROFUNDIDADES | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | DE | HASTA |
| 1 | 10.00 | 2.92 | 19.11 | 0.00 | 4.00 |
| 2 | 25.76 | 4.12 | 18.03 | 4.00 | 12.00 |
| 3 | 45.30 | 43.50 | 19.11 | 12.00 | 20.00 |

| | |
|---|---|
| Diámetro de los Pilotes [m] | 0.80 |
| Longitud de los Pilotes [m] | 20.00 |

| Z [m] | Ks [KN/m³] | K [KN/m] |
|---|---|---|
| 0.00 | 1349.00 | 791.49 |
| 1.00 | 3238.17 | 2442.98 |
| 2.00 | 4020.69 | 3192.27 |
| 3.00 | 4621.13 | 3947.44 |
| 4.00 | 7100.55 | 6461.10 |
| 5.00 | 15434.91 | 11696.98 |
| 6.00 | 18887.12 | 15002.59 |
| 7.00 | 21536.08 | 17173.43 |
| 8.00 | 23769.27 | 18979.99 |
| 9.00 | 25736.74 | 20564.23 |
| 10.00 | 27515.48 | 21993.31 |
| 11.00 | 29151.19 | 63211.93 |
| 12.00 | 329969.22 | 238287.42 |
| 13.00 | 438127.59 | 342054.37 |
| 14.00 | 482928.25 | 384952.74 |
| 15.00 | 517305.00 | 413124.56 |
| 16.00 | 546285.95 | 436569.00 |
| 17.00 | 571818.68 | 457128.36 |
| 18.00 | 594902.03 | 475674.15 |
| 19.00 | 616129.36 | 492707.56 |
| 20.00 | 635887.27 | 506075.43 |

*Desarrollado por: Ing. Juan Camilo Lopera - Ing. Oscar Iván Galvis Mora*

***Figura 6. 11.*** *Modulos de Balasto Pilotes via*

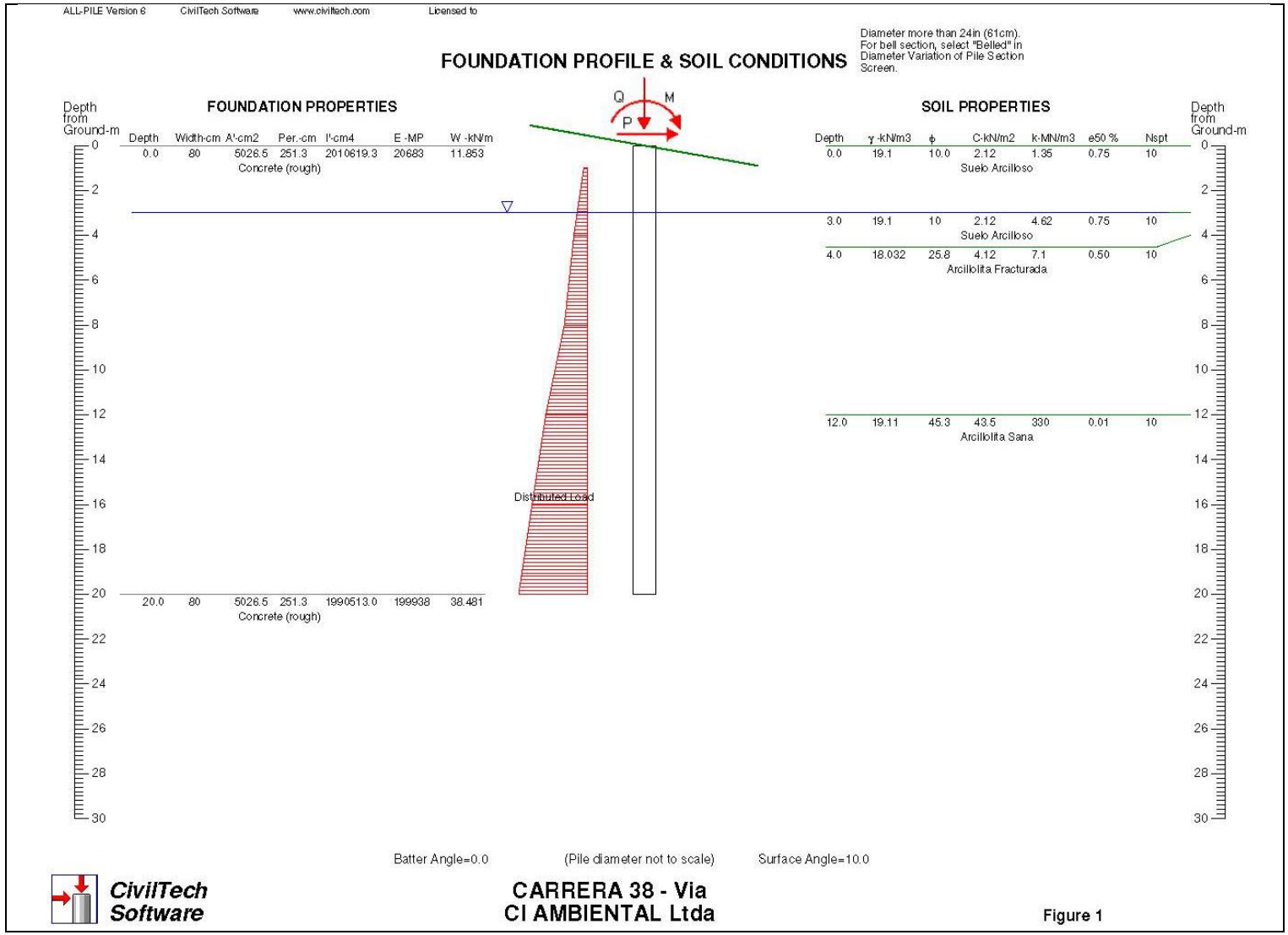
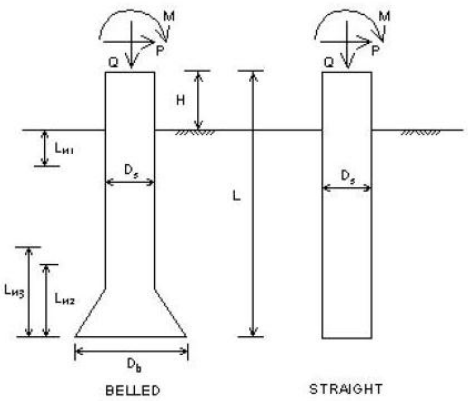



***Figura 6. 12.*** *Esquema de Análisis de Pilotes Via*

## VERTICAL ANALYSIS

Figure 1




Drilled Shaft (dia >24 in. or 61 cm)

**Loads:**
Load Factor for Vertical Loads= 1.0
Load Factor for Lateral Loads= 1.0
Loads Supported by Pile Cap= 0 %
Shear Condition: Cyclic
Number of Cycles: 2
Vertical Load, Q= 60.0 -kN
Shear Load, P= 0.0 -kN
Slope Restain St= 0.00 -cm/-cm

**Profile:**
Pile Length, L= 20.0 -m
Top Height, H= 0.000 -m
Slope Angle, As= 10.0
Batter Angle, Ab= 0.0

Fixed Head Condition
Nocontributing Zone, Ln1=Ln2=Ln3=0.

**Soil Data:**

| Depth -m | Gamma -kN/m3 | Phi | C -kN/m2 | K -MN/m3 | e50 or Dr % | Nspt |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.000 | 19.1 | 10.0 | 2.12 | 1.35 | 0.75 | 10 |
| 3 | 19.1 | 10 | 2.12 | 4.62 | 0.75 | 10 |
| 4 | 18.032 | 25.8 | 4.12 | 7.1 | 0.50 | 10 |
| 12 | 19.11 | 45.3 | 43.5 | 330 | 0.01 | 10 |

**Pile Data:**

| Depth -m | Width -cm | Area -cm2 | Per. -cm | I -cm4 | E -MP | Weight -kN/m |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.0 | 80 | 5026.5 | 251.3 | 2010619.3 | 20683 | 11.853 |
| 20.0 | 80 | 5026.5 | 251.3 | 1990513.0 | 199938 | 38.481 |

Vertical capacity:
Weight above Ground= 0.00 Total Weight= 153.35-kN *Soil Weight is not included
Side Resistance (Down)= 4666.359-kN Side Resistance (Up)= 3084.854-kN
Tip Resistance (Down)= 35568.727-kN Tip Resistance (Up)= 0.000-kN
Total Ultimate Capacity (Down)= 40235.086-kN Total Ultimate Capacity (Up)= 3238.201-kN
Total Allowable Capacity (Down)= 20895.270-kN Total Allowable Capacity (Up)= 1695.774-kN
OK! Qallow > Q

Settlement Calculation:
At Q= 60.00-kN Settlement= 0.01037-cm
At Xallow= 2.50-cm Qallow= 9149.50781-kN

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.

***Figura 6. 13.*** *Análisis por carga vertical Pilotes Via*

Como se observa en las figuras anteriores, los análisis de estabilidad de los pilotes son aceptables, lo que brinda mayor seguridad a la via reconformada. Con el fin de brindar protección a la via reconformada, la hilera de pilotes no se limita exclusivamente al sector en que la via que fue desplazada por el deslizamiento. Para tal fin, se recomienda que la hilera de pilotes y las vigas cabezales se extiendan hacia el sur por las márgenes de la vía, pero sin vigas transversales de conexión.

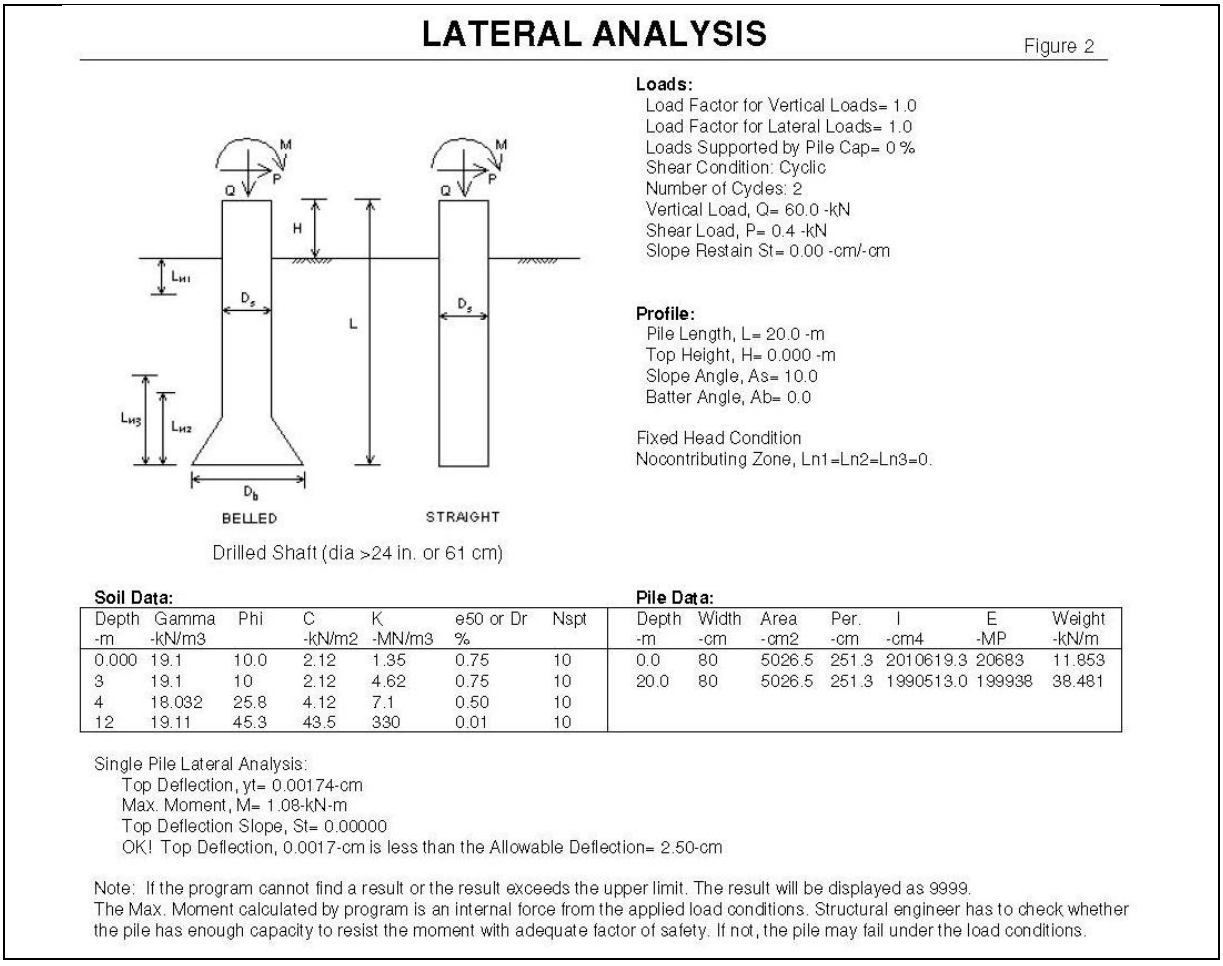



***Figura 6. 14.*** *Análisis por carga lateral Pilotes Via*

En el Anexo A8 "Diseños Estructurales Pilotes" se presentan los diseños estructurales de la totalidad de pilotes y las vigas cabezales.

### 6.2.3. Anclajes

Un anclaje pretensado es un elemento estructural instalado en suelo o roca, utilizado para transmitir cargas de tensión al terreno. En lo que sigue se refiere a anclajes directos al elemento estructural conformado por un bulbo de concreto, un tendón de acero, platina de acero y la cabeza del anclaje; estos y otros componentes del sistema de anclaje propuesto se ilustran en la Figura 6. 15. A continuación se presentará una breve descripción de las diferentes partes, así como los parámetros utilizados en el diseño del anclaje:

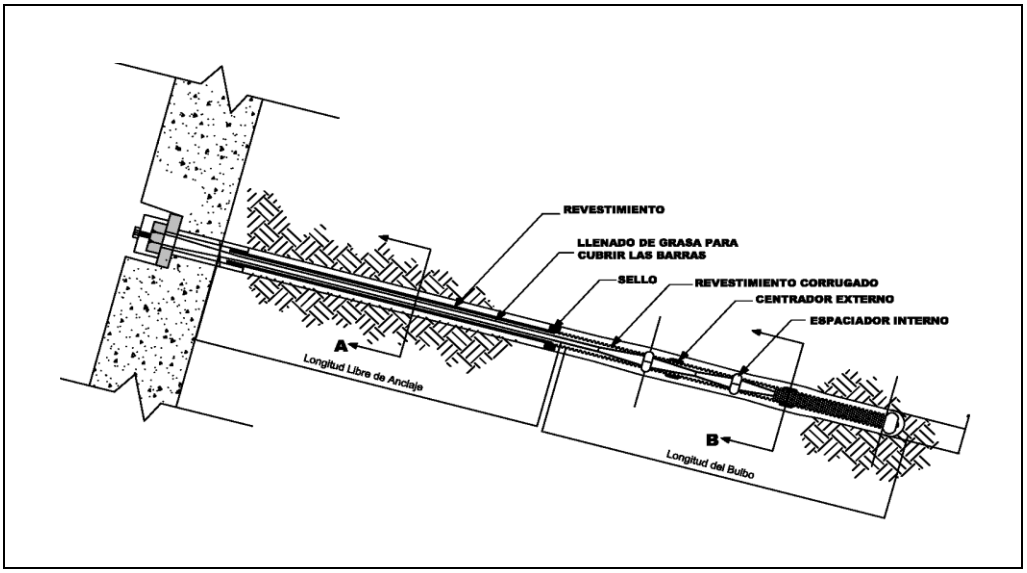



***Figura 6. 15.*** *Detalle componentes de Anclaje*

✓ ***Zona de bulbo.*** Es la parte del anclaje solidaria al terreno en profundidad, encargada de transferir los esfuerzos al mismo y se encuentra ubicada detrás de la línea de falla del terreno. Para los anclajes del muro en voladizo se recomiendan usarán bulbos de 8.0m como mínimo y como un máximo de 12.0m; mientras que para los anclajes de las hileras de pilotes, se recomiendan 10.0m de longitud de bulbo.

✓ ***Zona libre.*** Es la parte del anclaje en la que la armadura se encuentra aislada del terreno que la rodea y se encuentra por delante de la línea de falla del terreno.

✓ ***Cabeza y placa de apoyo.*** Es la unión de la armadura con la estructura de apoyo y sobre ella se ejerce la acción exterior.

✓ ***Torón.*** Cable o cables que transmiten la tensión del punto de apoyo (muro o pantalla) hasta el suelo o roca. Se utiliza torón de 1/2 " diámetro. Al hacer el pedido de los cables debe tenerse en cuenta que se requiere una longitud adicional (puntos) de por lo menos 1 m, para poder efectuar el tensionamiento.

✓ ***Separadores.*** Elemento metálico o de caucho que permiten mantener alineados los torones y separan la tubería de PVC del cable, permitiendo el flujo de lechada alrededor de éstos.

✓ ***Sello Impermeable.*** El anclaje está compuesto por una zona de bulbo y una longitud libre, el sello impermeable aísla las dos zonas. El sello se hace con lechada o con producto SIKA o similar.

✓ ***Protección del cabezal del anclaje.*** Es un protector en acero o plástico que se utiliza para proteger el cabezal del anclaje y partes de acero de la corrosión y daños físicos.

✓ ***Encamisado de protección.*** Corresponde a una tubería de PVC o acero, que sirve para proteger la base de la platina y la zona de transición entre el cabezal del anclaje y la longitud libre del tendón.

✓ ***Componente retardante de corrosión.*** Estos componentes protegen las partes de acero del anclaje y la longitud libre del tendón. Este compuesto no debe presentar problemas de endurecimientos con el tiempo que los haga frágiles. Dentro de estos componentes se incluyen las grasas y las ceras.

✓ ***Lechada.*** La lechada protege el acero pretensado en la zona libre y en la zona del bulbo, y puede ser cemento o resina en poliéster. La lechada también es utilizada para rellenar las cubiertas.

✓ ***Seaths.*** Son tubos de plástico liso o corrugado, utilizadas para proteger el acero pretensado en longitud libre del anclaje.

A continuación se presentan las características de cada uno de los anclajes propuestos para el sector de Carrera 38.

- **Muro en Cantilever**

Para el diseño del muro en voladizo, fue necesario contar con la carga de pretensionamiento de una hilera de anclajes, proporcionándole estabilidad a la estructura. Estos anclajes tienen una dimensión de 30 m, con una inclinación de 30° respecto a la horizontal y una tensión de 9 Ton, y estarán empotrados en arcillolita (ver Figura 6. 16)

**CI AMBIENTAL Ltda. - DISEÑO DE SISTEMAS ANCLADOS**

De acuerdo con las características mecánicas del suelo, de los materiales de construcción especificados, y las dimensiones de la estructura presentada, se llegó a un diseño aceptable. A continuación se presenta un resumen de diseño.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Número de Hileras de Anclajes | 1.00 | | | | ANCLAJES PROPUESTOS | | |
| Diámetro de los anclajes [in] | 7.00 | H1 [m] | 1.50 | T1 [KN] | 93.09 | Longitud Bulbo [m] | 10.00 |
| Inclinación de los anclajes [°] | 30.00 | H2 [m] | 2.00 | T2 [KN] | | Carga de diseño [KN] | 93.09 |
| Resistencia del Acero [Mpa] | 420.00 | H3 [m] | | T3 [KN] | | | |
| Tensión máxima posible [KN] | 157.20 | H4 [m] | | T4 [KN] | | | |
| | | H5 [m] | | T5 [KN] | | | |
| | | H6 [m] | | T6 [KN] | | | |

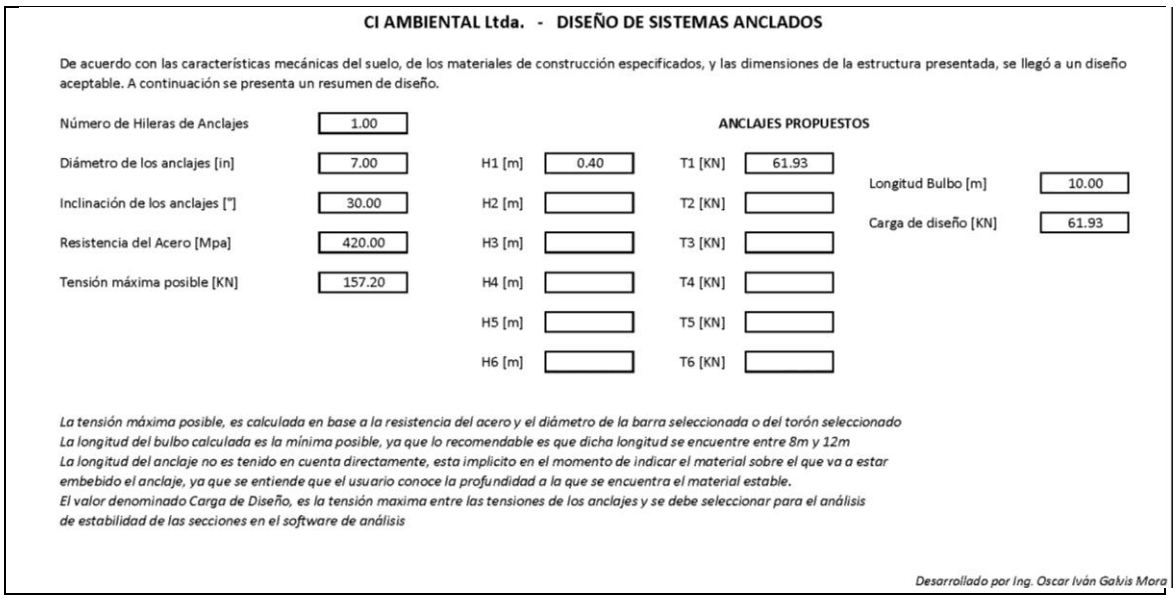
*La tensión máxima posible, es calculada en base a la resistencia del acero y el diámetro de la barra seleccionada o del torón seleccionado*
*La longitud del bulbo calculada es la mínima posible, ya que lo recomendable es que dicha longitud se encuentre entre 8m y 12m*
*La longitud del anclaje no es tenido en cuenta directamente, esta implicito en el momento de indicar el material sobre el que va a estar embebido el anclaje, ya que se entiende que el usuario conoce la profundidad a la que se encuentra el material estable.*
*El valor denominado Carga de Diseño, es la tensión maxima entre las tensiones de los anclajes y se debe seleccionar para el análisis de estabilidad de las secciones en el software de análisis*

*Desarrollado por Ing. Oscar Iván Galvis Mo*

***Figura 6. 16.*** *Diseño Anclaje Muro Superior*

- **Hileras de Pilotes**

Con el fin de evitar el cabeceo de los pilotes, la viga cabezal de amarre deberá ir anclada en la arcillolita, mediante el uso de una hilera de anclajes de 30m de longitud, con inclinación de 30° y una tensión de 6 Ton (ver Figura 6. 17)



**CI AMBIENTAL Ltda. - DISEÑO DE SISTEMAS ANCLADOS**

De acuerdo con las características mecánicas del suelo, de los materiales de construcción especificados, y las dimensiones de la estructura presentada, se llegó a un diseño aceptable. A continuación se presenta un resumen de diseño.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Número de Hileras de Anclajes | 1.00 | | | | ANCLAJES PROPUESTOS | | |
| Diámetro de los anclajes [in] | 7.00 | H1 [m] | 0.40 | T1 [KN] | 61.93 | Longitud Bulbo [m] | 10.00 |
| Inclinación de los anclajes [°] | 30.00 | H2 [m] | | T2 [KN] | | Carga de diseño [KN] | 61.93 |
| Resistencia del Acero [Mpa] | 420.00 | H3 [m] | | T3 [KN] | | | |
| Tensión máxima posible [KN] | 157.20 | H4 [m] | | T4 [KN] | | | |
| | | H5 [m] | | T5 [KN] | | | |
| | | H6 [m] | | T6 [KN] | | | |

*La tensión máxima posible, es calculada en base a la resistencia del acero y el diámetro de la barra seleccionada o del torón seleccionado*
*La longitud del bulbo calculada es la mínima posible, ya que lo recomendable es que dicha longitud se encuentre entre 8m y 12m*
*La longitud del anclaje no es tenido en cuenta directamente, esta implicito en el momento de indicar el material sobre el que va a estar embebido el anclaje, ya que se entiende que el usuario conoce la profundidad a la que se encuentra el material estable.*
*El valor denominado Carga de Diseño, es la tensión maxima entre las tensiones de los anclajes y se debe seleccionar para el análisis de estabilidad de las secciones en el software de análisis*

*Desarrollado por Ing. Oscar Iván Galvis Mora*

***Figura 6. 17.*** *Diseño Anclaje Hileras de Pilotes*

### 6.2.4. Muro en Gaviones

Dada la existencia de viviendas en la parte baja del talud, y conocidas las posibilidades de un desalizamiento, y dadas características de humedad y propiedades mecánicas del material, en la parte baja, después algunas obras de perfilado y relleno con material seleccionado, se recomienda la construcción de una estructura de gravedad, que le brinde estabilidad a las posibles superficies de falla que se pueden generar.

Se inicio el análisis con la premisa que la estructura debería ser una estructura maciza que brindara el peso suficiente y una altura tal que detuviera un posible flujo de material de la parte baja de la via (condición crítica dad la existencia de las obras propuestas previamente), pero dada la dinámica del sector, se consideró que la estructura brindara el peso necesario pero que fuer una estructura que permitiera desplazamientos diferenciales a lo largo de toda la estructura, por tanto se decidió hacer un muro en gaviones, con canastas de 2.0X2.0m, hasta alcanzar una altura de 6.0m y en la base una longitud de 10.0m, lo que da un tota de 12 gaviones por sección (ver Figura 6. 18 y Figura 6. 19).

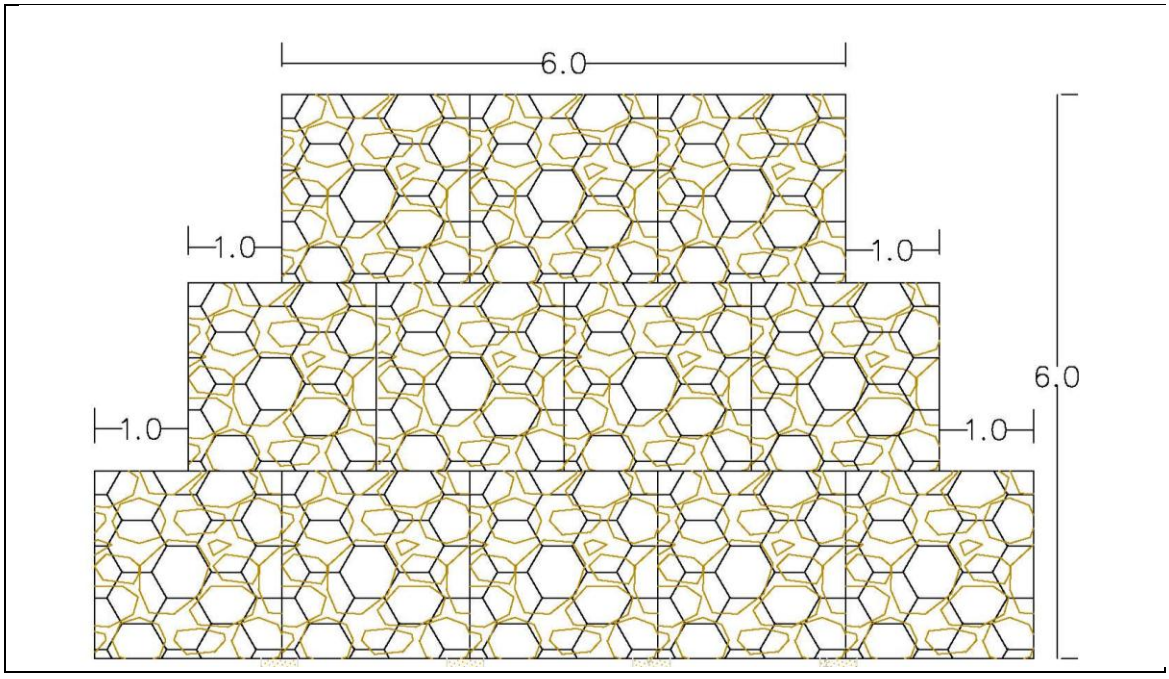



***Figura 6. 18.*** *Detalle Muro en Gaviones*

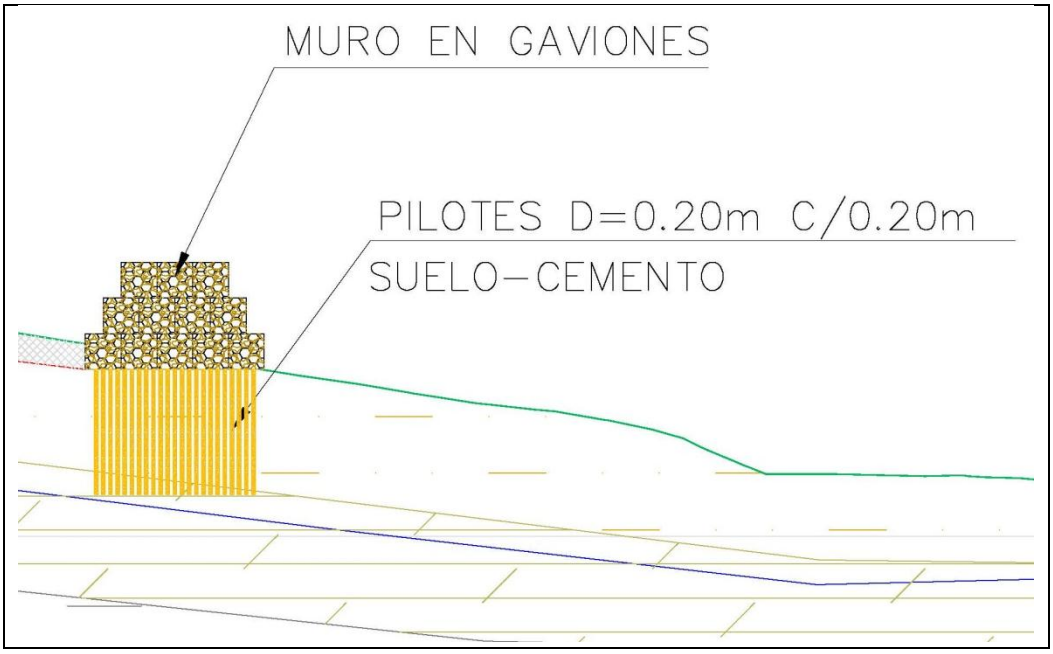



***Figura 6. 19.*** *Detalle Perfil Muro en Gaviones*

Por sección el muro en gaviones tendrá un peso de 1920KN (peso unitario gaviones 21KN/m³), y su suelo de soporte es el Suelo Arcilloso que no presenta las mejores características mecánicas, por tanto es necesario trasmitir dichas cargas a un suelo de mejor respuesta mecánica, por tanto, se

recomienda la cimentación de dicho muro en hileras de pilotes de suelo cemento de 0.20m de diámetro a una profundidad de 7.0m, separados cada 0.20m, de tal forma que la carga que se trasmita al suelo por cada pilote será de 87.27KN.

En la Figura 6. 20 a la Figura 6. 21 se presenta el Diseño de las hileras de pilotes. Es necesario hacer la anotación, que a pesar que se encuentra antes los mismos empujes laterales del suelo, dada la distribución de los pilotes, que se encuentran muy cercanos entre si, estos pilotes actúan como una estrcutruda maciza ante dichos empujes laterales, por tanto no es necesario hacer la revisión ante cargas laterales.

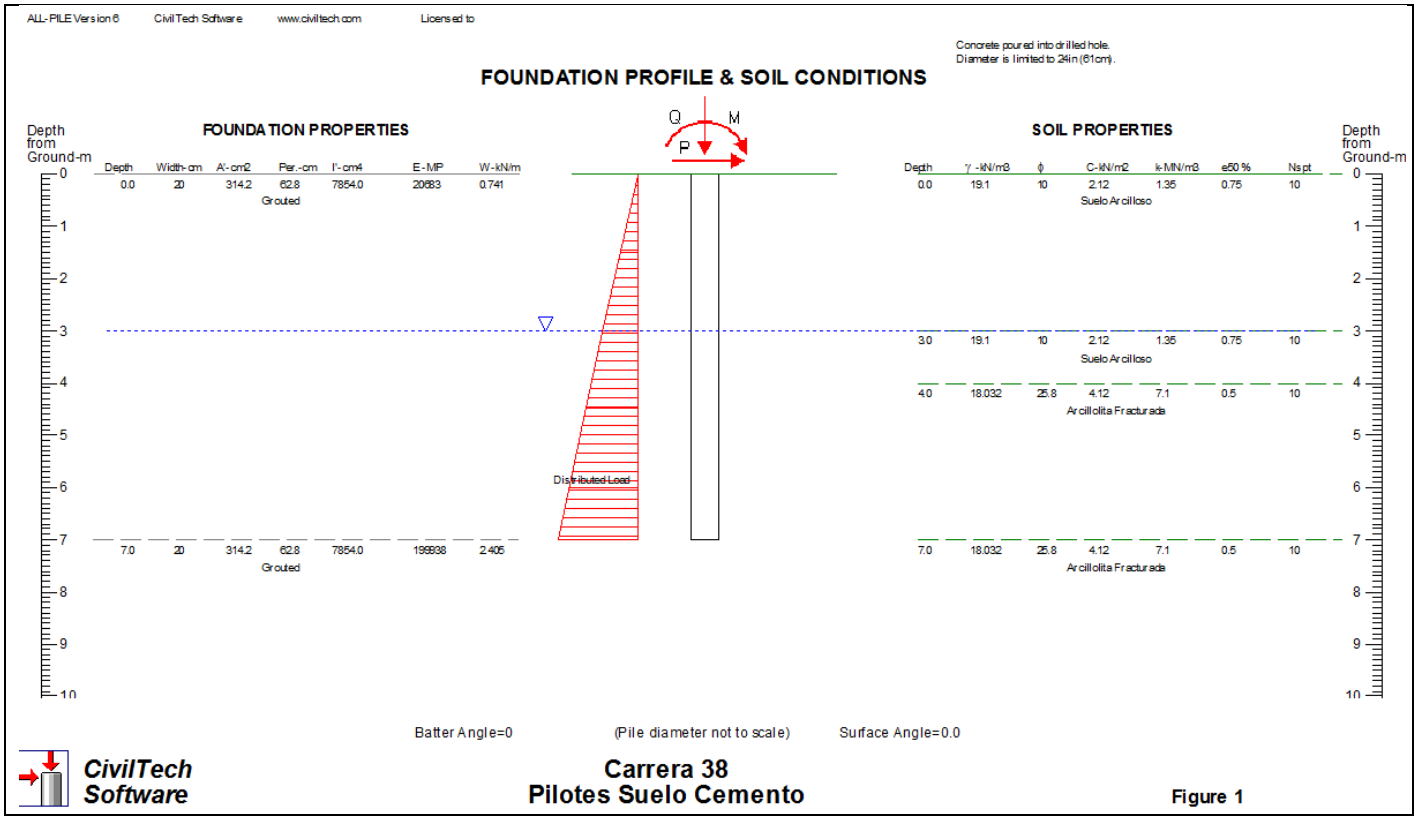
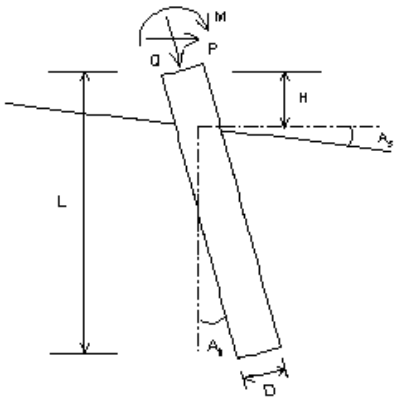



***Figura 6. 20.*** *Esquema de Análisis de Pilotes Suelo cemento*

## VERTICAL ANALYSIS

Figure 1




Drilled Pile (dia <=24 in. or 61 cm)

**Loads:**
Load Factor for Vertical Loads= 1.0
Load Factor for Lateral Loads= 1.0
Loads Supported by Pile Cap= 0 %
Shear Condition: Static

Vertical Load, Q= 87.3 -kN
Shear Load, P= 0.0 -kN
Slope Restain St= 0.00 -cm/-cm

**Profile:**
Pile Length, L= 7.0 -m
Top Height, H= 0 -m
Slope Angle, As= 0.0
Batter Angle, Ab= 0

Fixed Head Condition

**Soil Data:**

| Depth -m | Gamma -kN/m3 | Phi | C -kN/m2 | K -MN/m3 | e50 or Dr % | Nspt |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 19.1 | 10 | 2.12 | 1.35 | 0.75 | 10 |
| 3 | 19.1 | 10 | 2.12 | 1.35 | 0.75 | 10 |
| 4 | 18.032 | 25.8 | 4.12 | 7.1 | 0.5 | 10 |
| 7 | 18.032 | 25.8 | 4.12 | 7.1 | 0.5 | 10 |

**Pile Data:**

| Depth -m | Width -cm | Area -cm2 | Per. -cm | I -cm4 | E -MP | Weight -kN/m |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.0 | 20 | 314.2 | 62.8 | 7854.0 | 20683 | 0.741 |
| 7.0 | 20 | 314.2 | 62.8 | 7854.0 | 199938 | 2.405 |

Vertical capacity:
Weight above Ground= 0.00 Total Weight= 3.96-kN *Soil Weight is not included
Side Resistance (Down)= 191.227-kN Side Resistance (Up)= 191.227-kN
Tip Resistance (Down)= 14.221-kN Tip Resistance (Up)= 0.000-kN
Total Ultimate Capacity (Down)= 205.447-kN Total Ultimate Capacity (Up)= 195.183-kN
Total Allowable Capacity (Down)= 134.595-kN Total Allowable Capacity (Up)= 99.569-kN
OK! Qallow > Q

Settlement Calculation:
At Q= 87.27-kN Settlement= 0.05712-cm
At Xallow= 2.54-cm Qallow= 138.29288-kN

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.

CivilTech Software

Carrera 38
Pilotes Suelo Cemento

***Figura 6. 21.*** *Esquema de Análisis de Pilotes Suelo cemento*

### 6.3. OBRAS PARA EL MANEJO DE AGUAS SUPERFICIALES

Para establecer el drenaje en la zona, se analiza la conformación del terraceo propuesto buscando estabilizar la ladera y así establecer los ejes del drenaje en la obra, en esencia se propone la intercepción de las aguas superficiales por medio de cunetas dispuestas a lo largo de las bermas y su vertimiento hacia los canales principales.

Estos canales debido a la pendiente deben ser construidos en configuración escalonada de forma que permitan disipar la energía del agua y contar con suficiente capacidad para transportar los caudales pico para el periodo de diseño de 100 años seleccionado. Además debido a los posibles movimientos de masa en el sector, se implementarán bio-cunetas para la conducción de la escorrentía. El canal principal paralelo al movimiento será construido en gaviones de tal forma que los movimientos de la estructura no afecten la conducción del agua; adicionlamente, evitando el posible deslizamiento del canal sobre el terreno, en las bermas se propone cimentar el canal en pilotes de concreto. Conforme los dimensionamientos elaborados para éste sector de interés en el marco del estudio, se hace la propuesta de manejo de drenaje que se presenta a continuación (ver Figura 6. 22, y Anexo A5).

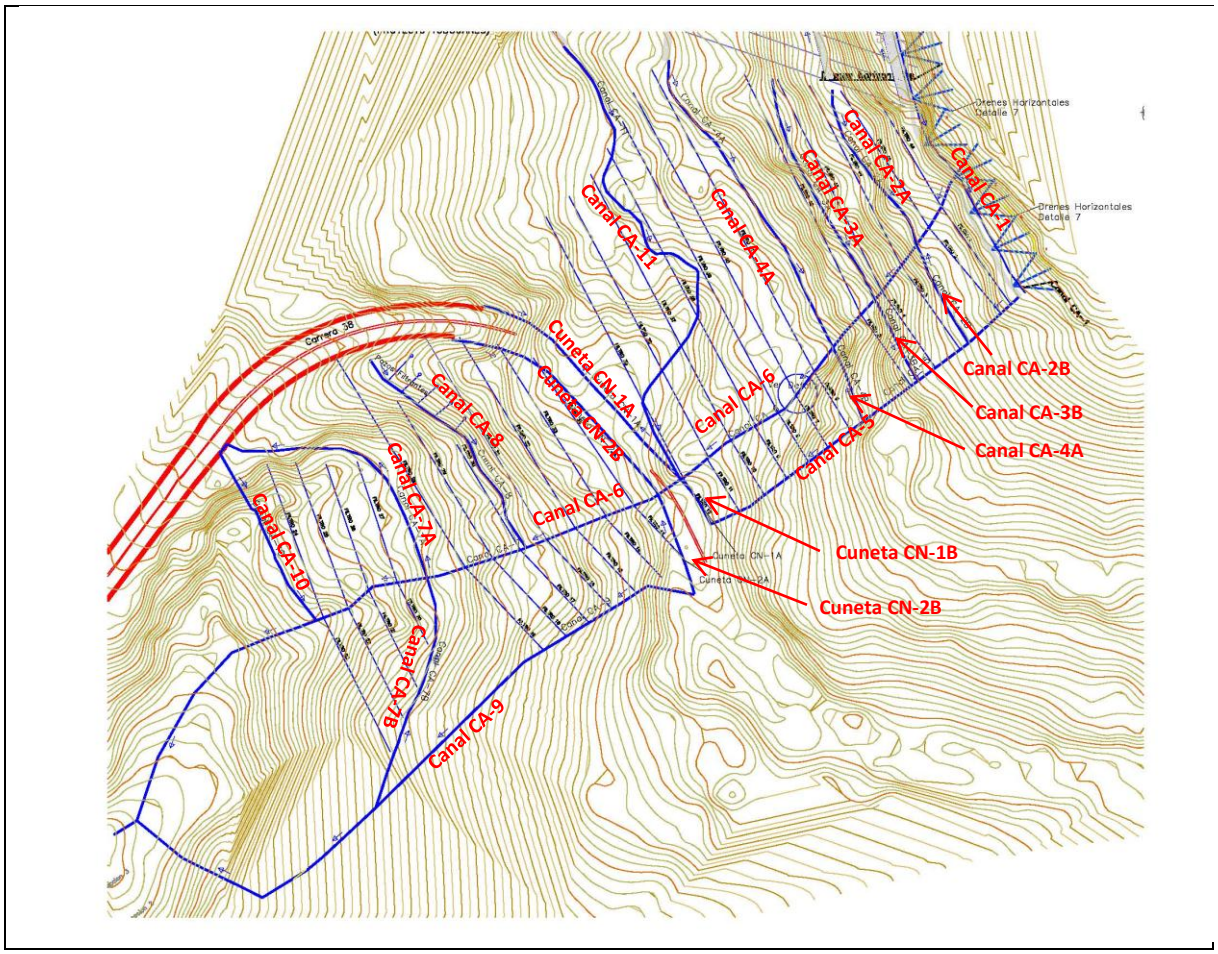



***Figura 6. 22.*** *Obras hidráulicas propuestas para el Sector Carrera 38*

Adicionalmente, con el fin de controlar el agua superficial sobre el muro y como protección de las obras geotécnicas, se recomienda la construcción de cunetas longitudinales y cunetas coronadoras.

Dado que se propone la reconformación de la via, las cunetas de control de aguas de la via deben ser igualmente construidas, y deben ser empalmadas con las cunetas existentes. Los canales y cunetas se describen a continuación:

De acuerdo a lo presentado en la Figura 6. 22, y a la topografía del sector después del movimiento de tierras propuesto, se presentan las caracteríticas generales de los canales (ver Tabla 6. 4). Dado que la topografía del terreno se verá modificada por las obras propuestas, fue necesario replanetar las cuencas drenantes, de acuerdo a la organización de los canles y cunetas, y su distribución final es la presentada en la Figura 6. 23. De acuerdo a lo anterior, para cada subcuenca se calcularon los caudales siguiendo el método racional (ver Tabla 6. 5).

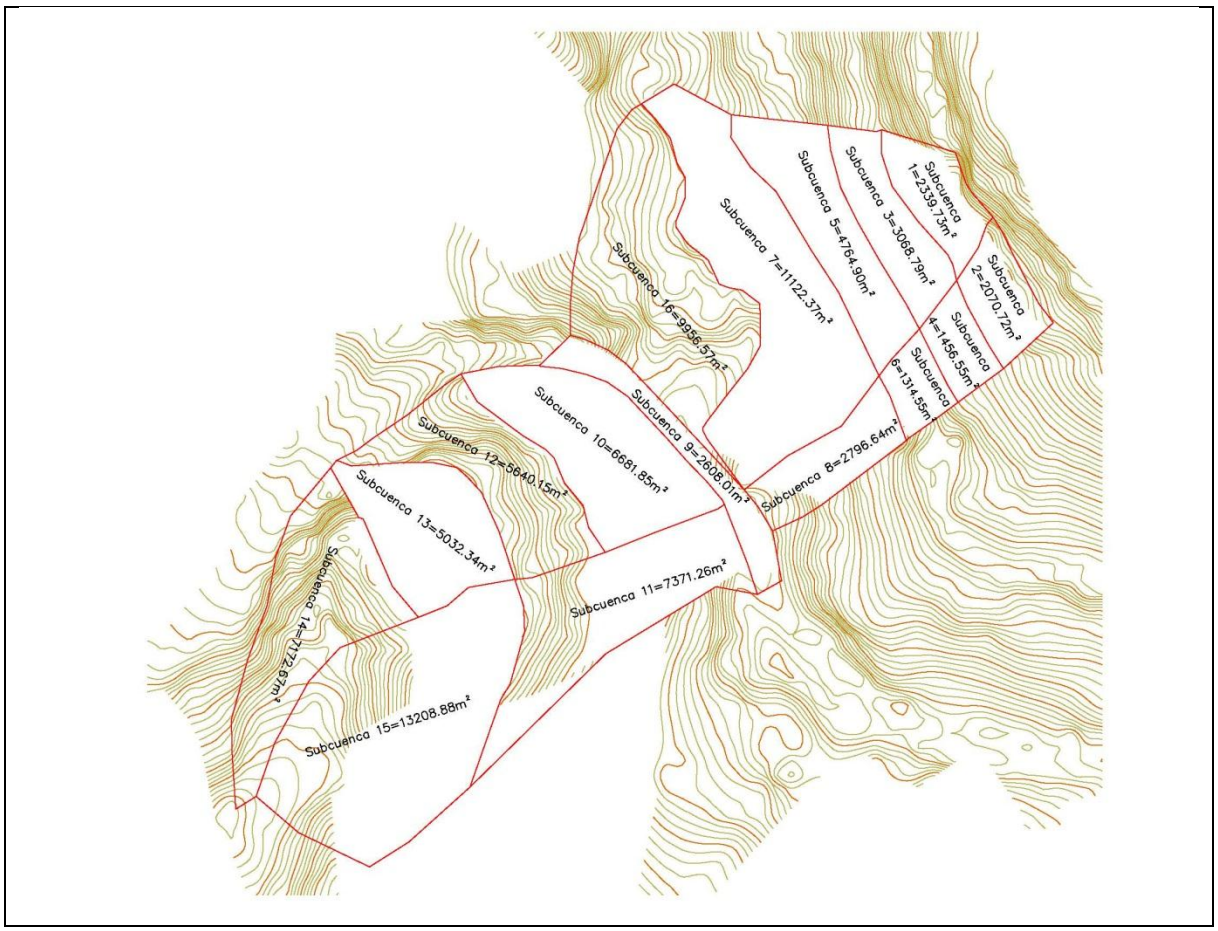



***Figura 6. 23.*** *Cuencas drenantes hacia canales y cunetas propuestas*

***Tabla 6. 4.*** *Caracteristicas generales Canales y Cunetas propuestas*

| ID | DRENA HACIA | LONG [m] | COTA INICIO | COTA FINAL | So [m/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| CANAL CA-1 | CANAL CA-5 | 108.47 | 120.14 | 117.89 | 0.0207 |
| CANAL CA-2A | CANAL CA-6 | 87.89 | 111.53 | 111.50 | 0.0003 |
| CANAL CA-2B | CANAL CA-6 | 54.16 | 111.59 | 111.44 | 0.0027 |
| CANAL CA-3A | CANAL CA-6 | 119.38 | 106.26 | 106.12 | 0.0012 |
| CANAL CA-3B | CANAL CA-5 | 45.06 | 107.94 | 106.12 | 0.0404 |
| CANAL CA-4A | CANAL CA-6 | 163.72 | 102.90 | 100.10 | 0.0171 |
| CANAL CA-4B | CANAL CA-6 | 39.04 | 100.10 | 100.00 | 0.0025 |
| CANAL CA-5 | CUNETA CN-1B | 186.50 | 117.94 | 87.56 | 0.1629 |
| CANAL CA-6 | QUEBRADA | CANAL ESCALONADO | | | |
| CANAL CA-7A | CANAL CA-10 | 135.73 | 68.04 | 67.04 | 0.0073 |
| CANAL CA-7B | CANAL CA-6 | 117.80 | 68.04 | 67.03 | 0.0085 |
| CANAL CA-8 | CANAL CA-6 | 122.28 | 74.70 | 74.60 | 0.0008 |
| CANAL CA-9 | QUEBRADA | 337.38 | 87.25 | 48.70 | 0.1143 |
| CANAL CA-10 | CANAL CA-6 | 94.84 | 67.00 | 59.35 | 0.0806 |
| CANAL CA-11 | CANAL CA-6 | 257.32 | 92.00 | 87.50 | 0.0175 |
| CUNETA CN-1A | CUNETA EXISTENTE | 130.66 | 87.70 | 78.55 | 0.0700 |
| CUNETA CN-1B | CANAL CA-6 | 24.47 | 87.80 | 87.70 | 0.0041 |
| CUNETA CN-2A | CUNETA EXISTENTE | 130.18 | 80.72 | 76.70 | 0.0309 |
| CUNETA CN-2B | CANAL CA-6 | 51.54 | 87.50 | 80.72 | 0.1315 |

***Tabla 6. 5.*** *Caudales drenantes por Subcuencas Modificadas*

| SUBCUENCA | ÁREA [Ha] | CAUDALES [m³/s] | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | LAS FLORES | ERNESTO COR | TO COLOMBI | *PROMEDIO* |
| Subcuenca 1 | 2.34 | 0.20 | 0.14 | 0.22 | 0.19 |
| Subcuenca 2 | 2.07 | 0.18 | 0.13 | 0.19 | 0.16 |
| Subcuenca 3 | 3.07 | 0.26 | 0.19 | 0.28 | 0.24 |
| Subcuenca 4 | 1.46 | 0.12 | 0.09 | 0.13 | 0.12 |
| Subcuenca 5 | 4.76 | 0.41 | 0.29 | 0.44 | 0.38 |
| Subcuenca 6 | 1.31 | 0.11 | 0.08 | 0.12 | 0.10 |
| Subcuenca 7 | 11.12 | 0.95 | 0.67 | 1.02 | 0.88 |
| Subcuenca 8 | 2.80 | 0.24 | 0.17 | 0.26 | 0.22 |
| Subcuenca 9 | 2.61 | 0.22 | 0.16 | 0.24 | 0.21 |
| Subcuenca 10 | 6.68 | 0.57 | 0.40 | 0.61 | 0.53 |
| Subcuenca 11 | 7.37 | 0.63 | 0.45 | 0.68 | 0.59 |
| Subcuenca 12 | 5.64 | 0.48 | 0.34 | 0.52 | 0.45 |
| Subcuenca 13 | 5.03 | 0.43 | 0.30 | 0.46 | 0.40 |
| Subcuenca 14 | 7.17 | 0.62 | 0.43 | 0.66 | 0.57 |
| Subcuenca 15 | 13.21 | 1.13 | 0.80 | 1.22 | 1.05 |
| Subcuenca 16 | 9.97 | 0.85 | 0.60 | 0.92 | 0.79 |

### 6.3.1. Canales y Cunetas

A partir de las cuencas determinadas, los canales propuestos y las conexiones entre ellos, se determina el caudal que fluira por cada uno de ellos (ver Tabla 6. 6).

Como se observa en la tabla, los canales CA-5, CA-9 y CA-6, asi como la cuneta CN-1B, además de recolectar el agua proveniente de las cuencas drenates, reciben los caudales recolectados por canales superiores y conducen las aguas a canales posteriores, por tanto, se espera que las dimensaiones de los canales sean mayores en comparación con los canales superiores.

En la Tabla 6. 7 se presenta los calculos realizados para cada una de las estructuras propuestas, mientras que en la Tabla 6. 8 se presentan las secciones definitivas de las mismas.

- **Canal CA-1:**

El Canal CA-1 se encuentra en la parte alta del muro en cantilever de la corona del talud, tiene como principal función recolectar las aguas de escorrentia evitando que se filtren hacia dicha estructura masiva. La escorrentía recolectada se descargará en la parte baja de la ladera protegiendo sobre el canal CA-5; se propone en sección rectangular con una altura de 0.40 m y una base de 0.3m.

- **Canal CA-2A y Canal CA-2B:**

Estos canales se encuentran en la berma superior, y su función es recolectar las aguas de escorrentia del talud conformado por las obras de movimientos de tierra. Ambos canales, de sección rectangular, descargarán sus aguas en el Canal CA-6 (Escalonado en Gaviones), pero con la diferencia que el área aferente del Canal CA-2A es mayor, por tanto las dimensiones de son mayores en comparación del CA-2B; las dimensiones son 0.4m de base para ambos, y 0.7m y 0.4m de alto para el canal CA-2A y Ca-2B respectivamente.

- **Canal CA-3A y Canal CA-3B:**

Estos canales se encuentran en la segunda berma conformada, y su función es recolectar las aguas de escorrentia del talud conformado por las obras de movimientos de tierra. El Canal CA-3A, de sección rectangular, descargará sus aguas en el Canal CA-6 (Escalonado en Gaviones), mientras que el canal CA-3B, de sección rectangular, descargará sus aguas en el Canal CA-5. Además de lo anterior, la pirncipal diferencia es la altura del canal, ya que el Canal CA-3A tendrá una altura de 0.5m mientras que el CA-3B será de 0.3m, ambos con una base de 0.4m

***Tabla 6. 6.*** *Caudales por Canal o Cuneta*

| ID | PUNTO PROVENIENTE DEL DRENAJE | % de Aporte | CAUDAL [m³/s] | OBSERVACIONES | CAUDAL TOTAL [m³/s] |
|---|---|---|---|---|---|
| CANAL CA-2A | Subcuenca 1 | 90 | 0.17 | 10% para CA-6 | 0.17 |
| CANAL CA-2B | Subcuenca 2 | 80 | 0.13 | 10% para CA-5 y 10% para CA-6 | 0.13 |
| CANAL CA-3A | Subcuenca 3 | 90 | 0.22 | 10% para CA-6 | 0.22 |
| CANAL CA-3B | Subcuenca 4 | 80 | 0.09 | 10% para CA-5 y 10% para CA-6 | 0.09 |
| CANAL CA-4A | Subcuenca 5 | 90 | 0.34 | 10% para CA-6 | 0.34 |
| CANAL CA-4B | Subcuenca 6 | 80 | 0.08 | 10% para CA-5 y 10% para CA-6 | 0.08 |
| CANAL CA-7A | Subcuenca 12 | 90 | 0.40 | 10% para CA-6 | 0.40 |
| CANAL CA-7B | Subcuenca 11 | 70 | 0.41 | 10% para CA-6 y 20 para CA-10 | 0.41 |
| CANAL CA-8 | Subcuenca 10 | 90 | 0.48 | 10% para CA-6 | 0.48 |
| CUNETA CN-1A | Subcuenca 16 | 100 | 0.60 | | 0.60 |
| CUNETA CN-2A | Subcuenca 9 | 85 | 0.18 | 15% para CN-2B | 0.18 |
| CUNETA CN-2B | Subcuenca 9 | 15 | 0.03 | 85% para CN-2B | 0.03 |
| CANAL CA-1 | Área al norte del Muro | 100 | 0.10 | | 0.10 |
| CANAL CA-11 | Subcuenca 7 | 90 | 0.61 | 10% para CA-6 | 0.61 |
| CANAL CA-5 | Canal CA-1 | 100 | 0.10 | | 0.26 |
| | Canal CA-3B | 100 | 0.09 | | |
| | Subcuenca 2 | 10 | 0.02 | 80% para CA-2B y 10% para CA-6 | |
| | Subcuenca 4 | 10 | 0.01 | 80% para CA-3B y 10% para CA-6 | |
| | Subcuenca 6 | 10 | 0.01 | 80% para CA-4B y 10% para CA-6 | |
| | Subcuenca 8 | 10 | 0.02 | 90% para CN-1B | |
| CANAL CA-9 | Canal CA-7A | 100 | 0.40 | | 0.76 |
| | Subcuenca 13 | 90 | 0.36 | 10% para CA-6 | |
| CUNETA CN-1B | Canal CA-5 | 100 | 0.26 | | 0.46 |
| | Subcuenca 8 | 90 | 0.20 | 10% para CA-5 | |
| CANAL CA-10 | Subcuenca 11 | 20 | 0.12 | 70% para CA-7B y 10% para CA-6 | 0.12 |
| CANAL CA-6 | Subcuenca 1 | 10 | 0.02 | 90% para CA-2A | 2.35 |
| | Subcuenca 2 | 10 | 0.02 | 80% para CA-2B y 10% para CA-5 | |
| | Subcuenca 3 | 10 | 0.02 | 90% para CA-3A | |
| | Subcuenca 4 | 10 | 0.01 | 80% para CA-3B y 10% para CA-5 | |
| | Subcuenca 5 | 10 | 0.04 | 90% para CA-4A | |
| | Subcuenca 6 | 10 | 0.01 | 80% para CA-4B y 10% para CA-5 | |
| | Subcuenca 12 | 10 | 0.04 | 90% para CA-7A | |
| | Subcuenca 11 | 10 | 0.06 | 80% para CA-7B y 20% para CA-10 | |
| | Subcuenca 10 | 10 | 0.05 | 90% para CA-8 | |
| | Subcuenca 7 | 10 | 0.09 | 10% para CA-11 | |
| | Subcuenca 13 | 10 | 0.04 | 90% para CA-9 | |
| | Canal CA-2A | 100 | 0.17 | | |
| | Canal CA-2B | 100 | 0.13 | | |
| | Canal CA-3A | 100 | 0.22 | | |
| | Canal CA-4A | 100 | 0.34 | | |
| | Canal CA-4B | 100 | 0.08 | | |
| | Canal CA-8 | 100 | 0.48 | | |
| | Canal CA-7B | 100 | 0.41 | | |
| | Canal CA-10 | 100 | 0.12 | | |

***Tabla 6. 7.*** *Calculos Canales y Cunetas*

| CANAL / CUNETA | So [m/m] | Q [m³/s] | n | SECCIÓN | b [m] | z | yn [m] | y [m] | y construcción [m] | Area [m²] | Vel [m/s] | Verifcar velocidad |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CANAL CA-1 | 2.07E-02 | 0.10 | 0.013 | Rectangular | 0.30 | 0.00 | 0.12 | 0.17 | 0.40 | 0.04 | 2.87 | ok |
| CANAL CA-2A | 2.89E-04 | 0.17 | 0.013 | Rectangular | 0.40 | 0.00 | 0.43 | 0.61 | 0.70 | 0.17 | 0.98 | ok |
| CANAL CA-2B | 2.65E-03 | 0.13 | 0.013 | Rectangular | 0.40 | 0.00 | 0.21 | 0.30 | 0.40 | 0.08 | 1.55 | ok |
| CANAL CA-3A | 1.19E-03 | 0.22 | 0.013 | Rectangular | 0.40 | 0.00 | 0.34 | 0.49 | 0.50 | 0.14 | 1.60 | ok |
| CANAL CA-3B | 4.04E-02 | 0.09 | 0.013 | Rectangular | 0.40 | 0.00 | 0.08 | 0.11 | 0.30 | 0.03 | 2.89 | ok |
| CANAL CA-4A | 1.71E-02 | 0.34 | 0.013 | Rectangular | 0.50 | 0.00 | 0.19 | 0.28 | 0.40 | 0.10 | 3.54 | ok |
| CANAL CA-4B | 2.49E-03 | 0.08 | 0.013 | Rectangular | 0.40 | 0.00 | 0.17 | 0.24 | 0.30 | 0.07 | 1.24 | ok |
| CANAL CA-5 | 1.63E-01 | 0.26 | 0.013 | Trapezoidal Escalonado | 0.30 | 1.00 | 0.11 | 0.16 | 0.30 | 0.05 | 5.53 | Erosión |
| CANAL CA-7A | 7.33E-03 | 0.40 | 0.013 | Rectangular | 0.40 | 0.00 | 0.29 | 0.42 | 0.50 | 0.12 | 3.44 | ok |
| CANAL CA-7B | 8.52E-03 | 0.41 | 0.013 | Rectangular | 0.45 | 0.00 | 0.27 | 0.39 | 0.50 | 0.12 | 3.36 | ok |
| CANAL CA-8 | 7.93E-04 | 0.48 | 0.013 | Rectangular | 0.40 | 0.00 | 0.55 | 0.79 | 1.00 | 0.22 | 2.15 | ok |
| CANAL CA-9 | 1.14E-01 | 0.76 | 0.013 | Trapezoidal Escalonado | 0.40 | 1.00 | 0.20 | 0.28 | 0.30 | 0.08 | 9.63 | Erosión |
| CANAL CA-10 | 8.06E-02 | 0.12 | 0.013 | Rectangular | 0.50 | 0.00 | 0.07 | 0.09 | 0.30 | 0.03 | 3.55 | ok |
| CANAL CA-11 | 1.75E-02 | 0.61 | 0.013 | Rectangular | 1.10 | 0.00 | 0.17 | 0.25 | 0.30 | 0.19 | 3.16 | ok |
| CUNETA CN-1A | 7.00E-02 | 0.60 | 0.013 | Rectangular | 1 | 0.00 | 0.12 | 0.17 | 0.50 | 0.12 | 4.96 | Erosión |
| CUNETA CN-1B | 4.09E-03 | 0.46 | 0.013 | Rectangular | 0.50 | 0.00 | 0.33 | 0.48 | 0.70 | 0.17 | 2.74 | ok |
| CUNETA CN-2A | 3.09E-02 | 0.18 | 0.013 | Triangular | - | 1.50 | 0.21 | 0.30 | 0.40 | 0.07 | 2.66 | ok |
| CUNETA CN-2B | 1.32E-01 | 0.03 | 0.013 | Triangular | - | 1.50 | 0.08 | 0.12 | 0.30 | 0.01 | 2.97 | ok |

***Tabla 6. 8.*** *Secciones definitivas*

| DENOMINACIÓN | Caudal total [m³/s] | PREDIMENSIONAMIENTO | OBSERVACIONES | |
|---|---|---|---|---|
| CANAL CA-1 | 0.10 | Rectangular - y = 0.4 m - S = 0.0207 (m/m) - Q = 0.104 m³/s | Drena hacia CANAL CA-5 | |
| CANAL CA-2A | 0.17 | Rectangular - y = 0.7 m - S = 0.0003 (m/m) - Q = 0.167 m³/s | Drena hacia CANAL CA-6 | |
| CANAL CA-2B | 0.13 | Rectangular - y = 0.4 m - S = 0.0027 (m/m) - Q = 0.132 m³/s | Drena hacia CANAL CA-6 | |
| CANAL CA-3A | 0.22 | Rectangular - y = 0.5 m - S = 0.0012 (m/m) - Q = 0.219 m³/s | Drena hacia CANAL CA-6 | |
| CANAL CA-3B | 0.09 | Rectangular - y = 0.3 m - S = 0.0404 (m/m) - Q = 0.093 m³/s | Drena hacia CANAL CA-5 | |
| CANAL CA-4A | 0.34 | Rectangular - y = 0.4 m - S = 0.0171 (m/m) - Q = 0.341 m³/s | Drena hacia CANAL CA-6 | |
| CANAL CA-4B | 0.08 | Rectangular - y = 0.3 m - S = 0.0025 (m/m) - Q = 0.084 m³/s | Drena hacia CANAL CA-6 | |
| CANAL CA-5 | 0.26 | Trapezoidal Escalonado - y = 0.3 m - z = 1 - S = 0.1629 (m/m) - Q = 0.258 m³/s | Drena hacia CUNETA CN-1B | Escalonado |
| CANAL CA-7A | 0.40 | Rectangular - y = 0.5 m - S = 0.0073 (m/m) - Q = 0.403 m³/s | Drena hacia CANAL CA-10 | |
| CANAL CA-7B | 0.41 | Rectangular - y = 0.5 m - S = 0.0085 (m/m) - Q = 0.410 m³/s | Drena hacia CANAL CA-6 | |
| CANAL CA-8 | 0.48 | Rectangular - y = 1 m - S = 0.0008 (m/m) - Q = 0.478 m³/s | Drena hacia CANAL CA-6 | |
| CANAL CA-9 | 0.76 | Trapezoidal Escalonado - y = 0.3 m - z = 1 - S = 0.1143 (m/m) - Q = 0.763 m³/s | Drena hacia QUEBRADA | Escalonado |
| CANAL CA-10 | 0.12 | Rectangular - y = 0.3 m - S = 0.0806 (m/m) - Q = 0.117 m³/s | Drena hacia CANAL CA-6 | |
| CANAL CA-11 | 0.61 | Rectangular - y = 0.3 m - S = 0.0175 (m/m) - Q = 0.605 m³/s | Drena hacia CANAL CA-6 | |
| CUNETA CN-1A | 0.60 | Rectangular - y = 0.5 m - S = 0.0700 (m/m) - Q = 0.602 m³/s | Drena hacia CUNETA EXISTENTE | Se deben instalar reductores de energía |
| CUNETA CN-1B | 0.46 | Rectangular - y = 0.7 m - S = 0.0041 (m/m) - Q = 0.457 m³/s | Drena hacia CANAL CA-6 | |
| CUNETA CN-2A | 0.18 | Triangular - y = 0.4 m - z = 1.5 - S = 0.0309 (m/m) - Q = 0.176 m³/s | Drena hacia CUNETA EXISTENTE | |
| CUNETA CN-2B | 0.03 | Triangular - y = 0.3 m - z = 1.5 - S = 0.1315 (m/m) - Q = 0.031 m³/s | Drena hacia CANAL CA-6 | |

- **Canal CA-4A y Canal CA-4B:**

Estos canales se encuentran en la tercera berma conformada, y su función es recolectar las aguas de escorrentia del talud conformado por las obras de movimientos de tierra. Ambos canales, de sección rectangular, descargarán sus aguas en el Canal CA-6 (Escalonado en Gaviones), pero con la diferencia que el área aferente del Canal CA-4A es mayor, 0.5m de base y 0.4m de altura, mientras que el CA-4B, será de 0.4m de base y 0.3m de alto.

- **Canal CA-5:**

El Canal CA-5 bordea el límite de las obras propuestas en la parte superior de la via, de tal forma que trabaja como un recolector de las aguas de los canales que drenan sus aguas hacia el suroriente, en la parte superior del talud, además de recolectar algun porcentaje de la lluvia sobre las subcuencas de la parte oriental de la zona alta del talud. Será un canal de sección trapezoidal y tendrá unas dimensiones de 0.3m en la base, 0.3m de alto y una pendiente 1:1 en los taludes; dado que es un canal paralelo al talud, la diferencia de cotas es importante, y el caudal que recolecta es importante, por tanto es necesario construirlo de forma escalonada, de tal forma que los escalones trabajen como reductores de energia y asi evitar la erosion del canal.

- **Canal CA-7A y Canal CA-7B:**

Estos canales se encuentran en la primer berma conformada bajo la via. El Canal CA-7A recoge la escorrentia del talud que se encuetra bajo la linea de pilotes intermedia, mienras que el Canal CA-7B recoge las aguas que fluyen desde la via; este ultimo tiene su descarga al Canal CA-6 (Escalonado en Gaviones), mientras que el Canal CA-7A, descarga su afluente en el Canal CA-10, ya que la topografía del terreno reconformado lo obliga asi. La seccion de los dos canales es rectangular y sus dimensiones son 0.4m de base - 0.5m de alto, y 0.45m de base – 0.5m de alto respectivamente.

- **Canal CA-8:**

El Canal CA-8 bordea la berma intermedia bajo la via, recogiendo las aguas de escorrentia que drenan desde la via al costado derecho del Canal CA-6. Su sección igualmente será una seccion rectangular de dimensiones 0.4m de base y 1m de alto, haciendo su descarga en el Canal CA-6. Las dimensiones de este canal se esperaban de esta magnitud, dado que por el conocimiento previo del sector, se conoce que este sector es uno de los más humedos de la zona.

- **Canal CA-9:**

El Canal CA-5 bordea el límite de las obras propuestas en la parte inferior de la via, de tal forma que trabaja como un recolector de las aguas de los canales que drenan sus aguas hacia el suroriente, en la parte superior del talud, además de recolectar algun porcentaje de la lluvia sobre las subcuencas de la parte oriental de la zona media del talud. Será un canal de sección trapezoidal y tendrá unas dimensiones de 0.4m en la base, 0.3m de alto y una pendiente 1:1 en los taludes; dado que es un canal paralelo al talud, la diferencia de cotas es importante, y el caudal que recolecta es importante, por tanto es necesario construirlo de forma escalonada, de tal forma que los escalones trabajen como reductores de energia y asi evitar la erosion del canal. Este canal hace su descarga en la parte baja del talud, conectandose con el Canal CA-6.

- **Canal CA-10:**

El Canal CA-10 fue necesario proponerlo ya que en la parte baja del talud en la pata del ultimo terraceo propuesto, pero solamente en el sector derecho del Canal CA-6, ya que las secciones de los canales aumentaban en comparación con los canales de la parte alta, por tanto , se planteo distribuir el agua drenante hacia otra dirección, además de la necesidad de recoger las aguas recolectadas por el Canal CA-7A. Será un canal de sección rectangular de 0.50m de base, 0.3m de alto y finalmente descarga sus aguas en el Canal CA-6.

- **Canal CA-11:**

El Canal CA-11 fue planteado en la parte superior de la via, sobre la pata del ultimo terraceo realizado en la parte alta del talud, ya que las áreas drenantes hacia las cunetas de la via, brindaban un caudal alto, obligando a que las dimensiones de una de las cunetas superara las dimensiones normales. Este canal se planteo de sección rectangualr, con base de 1.10m y una altura de 0.3m; finalmente, descarga en el Canal CA-6 antes de llegar a la via, de tal forma que sus aguas pasen a través de la estructura hidráulica alli propuesta.

- **Cunetas CN-1A y CN-1B**

La funcion principal de estas cunetas en evitar que el agua drene a lo largo de la calzada de la via, recolectando las aguas que escurren por los taludes inmediatamente superiores a la via; en el caso de la Cuneta CN-1B, esta sección es mayor ya que este recoge las aguas drenadas por el Canal CA-5. Dichas cunetas tendrán secciones rectangulares de dimensiones 1.0m de base – 0.5m de alto y 0.5m de base – 0.7m de alto respectivamente. La Cuneta CN-1B descarga sus aguas en la estructura hidráulica que atravieza la via a la altura del Canal CA-6, mientras que las aguas recogidas por la Cuneta CN-1A descarga en la cuneta existente, la cual se recomienda modificar si las dimensiones no coinciden con las propuestas para esta cuneta.

- **Cunetas CN-2A y CN-2B**

La funcion principal de estas cunetas en evitar que el agua que cae sobre la via, llegue al talud bajo la via, ya que por el peralte de la via, el agua va a drenar en dirección suroccidente. La sección de ambas cunetas se recomienda que sean triangulares con una pendiente de 1.5 y una altura de 0.4m y 0.3m respectivamente. La Cuneta CN-2B descarga sus aguasa la salidade la estructura hidráulica que atravieza la via a la altura del Canal CA-6, mientras que las aguas recogidas por la Cuneta CN-2A descarga en la cuneta existente, la cual se recomienda modificar si las dimensiones no coinciden con las propuestas para esta cuneta.

En la
Figura 6. 24 a la
Figura 6. 26 se presentan esquemas de las sección propuestas, mientras que en la Figura 6. 27 se presenta un esquema de los canales escalonados.

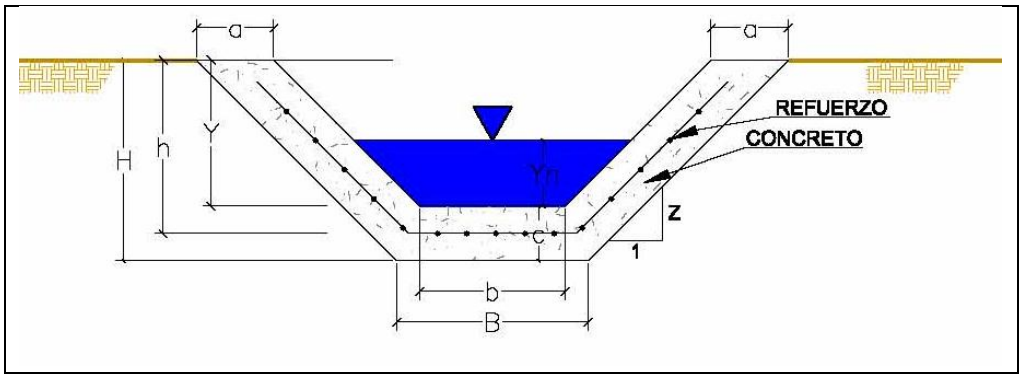



***Figura 6. 24.*** *Detalle Típico de Canal Trapezoidal*

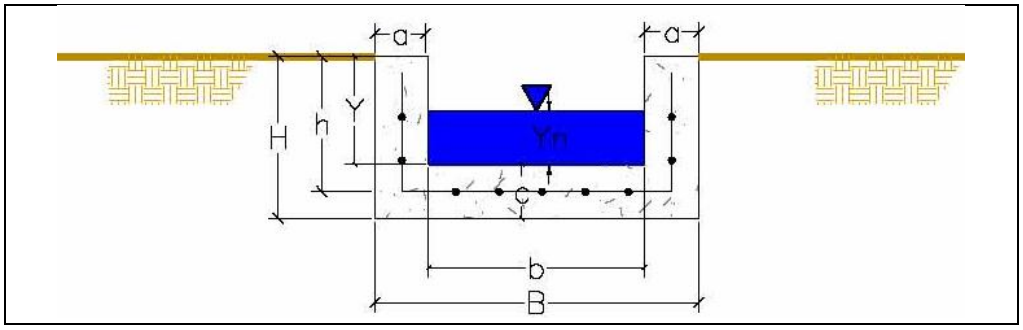



***Figura 6. 25.*** *Detalle Típico de Canal Rectangular*

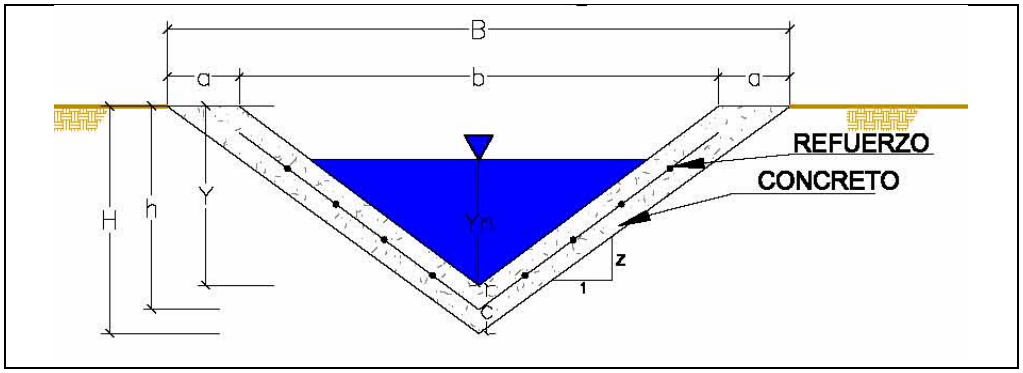



***Figura 6. 26.*** *Detalle Típico de Cuneta Triangular*

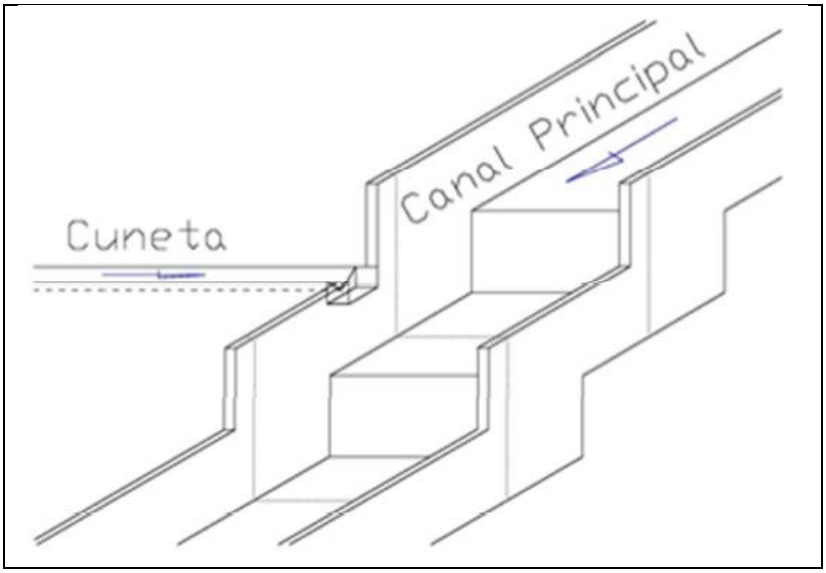



***Figura 6. 27.*** *Detalle Típico Canales escalonados*

- **Canal CA-6:**

El Canal CA-6 es la espina dorsal del sistema de recolección de aguas superficiales, ya que todos los canales de recolección propuestos, en algun momento descargan sus aguas a este canal, por tal es el canal de mayores dimensiones. Dado que es un canal que recorre el talud desde la parte alta del mismo, hasta la pata, y conociendo la dinámica del sector, este canal fue propuesto en gaviones, de seccion compuesta como se presenta en la Figura 6. 28, y escalonado. Con estas disposiciones, a pesar de acarrear con un alto caudal en el caso que

toda la cuenca aporte, la energía del flujo no sera la suficiente para producir daños a las obras del sector.

Debido a las cargas verticales que generara este canal en el material superficial, y dado la inclinación del terreno, con el fin de evitar un despazamiento del canal, en las bermas conformadas, se propone la instalación de dos pilotes de 0.6m de diámetro en concreto reforzado, empotrados en la arcillolita inalterada 3m, brindando mayor resistencia ante esfuerzos cortantdes.

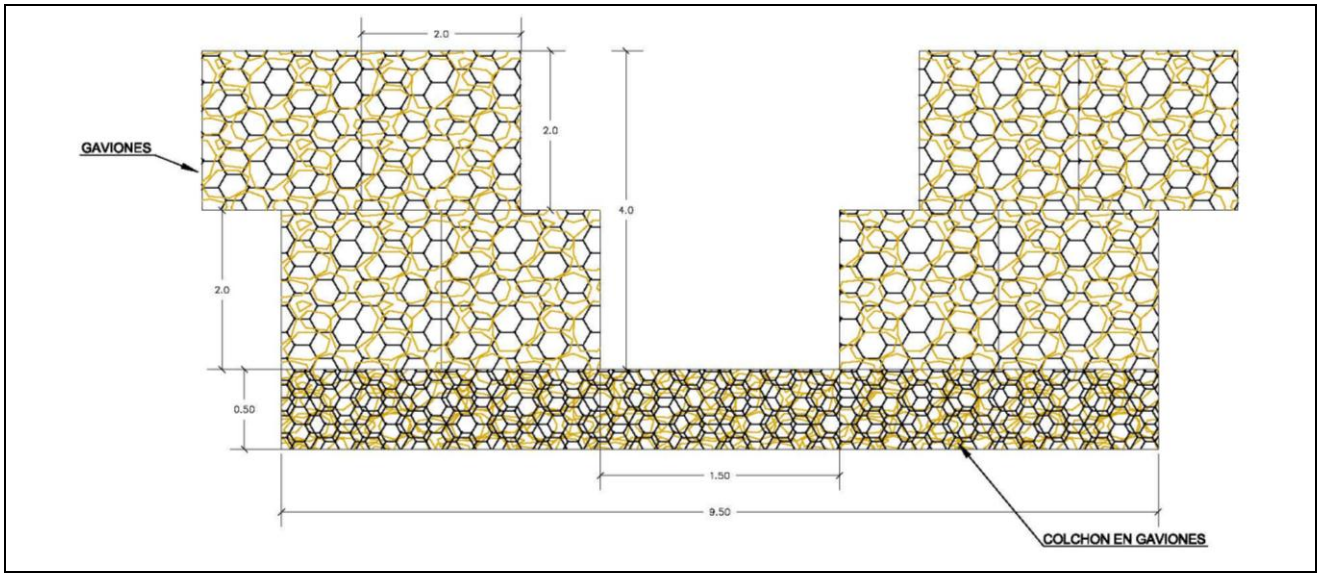



***Figura 6. 28.*** *Detalle Canal en Gaviones*

Dado lo anterior, se realizaron análisis de estabilidad de los pilotes, basados en las cargas que soportarian ante la carga de los gaviones y de la lamina de agua, cuyo calculo se presenta a continuación. En la Figura 6. 29 a la Figura 6. 33 se presentan los análisis de estabilidad de los pilotes.

De acuerdo a lo presentado en la Tabla 6. 6, el canal CA-6, recibe los tributarios de casi todos los canales y cunetas propuestas, y ah hacer la recdolección, en la parte baja del canal se tendrá un caudal de 6.27m³/s, en el momento en que toda la cuenca este aportando. Basado en ese valor de caudal, y teniendo en cuenta la sección presentada en la Figura 6. 28, la profundidad normal de flujo será de 1.73m, mientras que la profundidad crítica será de 1.21m, lo que indica que las dimensiones son correctas y en el casi de un aumento de las precipitaciones, el canal estará en capacidad de transportar el caudal.

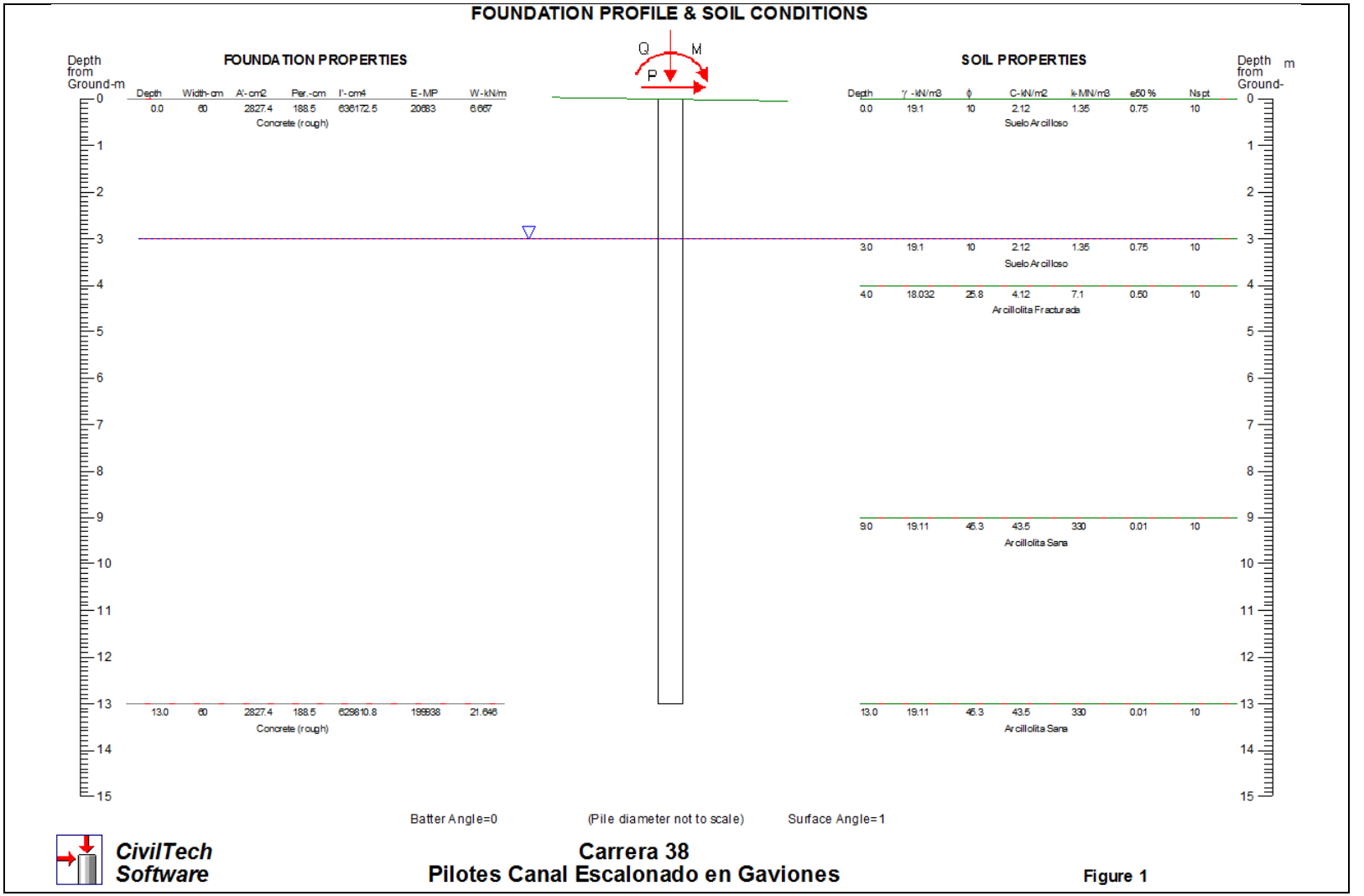



***Figura 6. 29.*** *Esquema de Análisis de Pilotes del Canal de Gaviones*

CI AMBIENTAL Ltda. - Ingeniería Geotécnica y Ambiental -

## MODULO DE BALASTO

| ESTRATO | Φ [°] | c [KN/m²] | γ [KN/m³] | PROFUNDIDADES | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | DE | HASTA |
| 1 | 10.00 | 2.92 | 19.11 | 0.00 | 4.00 |
| 2 | 25.76 | 4.12 | 18.03 | 4.00 | 9.00 |
| 3 | 45.30 | 43.50 | 19.11 | 9.00 | 13.00 |

| | |
|---|---|
| Diámetro de los Pilotes [m] | 0.60 |
| Longitud de los Pilotes [m] | 13.00 |

| Z [m] | Ks [KN/m³] | K [KN/m] |
|---|---|---|
| 0.00 | 1255.42 | 565.54 |
| 1.00 | 3144.59 | 1776.09 |
| 2.00 | 3927.11 | 2338.06 |
| 3.00 | 4527.55 | 2826.39 |
| 4.00 | 6226.58 | 4399.48 |
| 5.00 | 14560.94 | 8248.35 |
| 6.00 | 18013.14 | 10727.56 |
| 7.00 | 20662.11 | 12355.69 |
| 8.00 | 22895.30 | 42019.86 |
| 9.00 | 307955.34 | 167083.03 |
| 10.00 | 416113.70 | 243332.45 |
| 11.00 | 460914.36 | 275506.23 |
| 12.00 | 495291.12 | 296635.09 |
| 13.00 | 524272.07 | 311665.15 |

*Desarrollado por: Ing. Juan Camilo Lopera - Ing. Oscar Iván Galvis Mora*

***Figura 6. 30.*** *Cargas Laterales Pilotes del Canal de Gaviones*

```
                                    Pilotes Canal Gaviones.txt
*******************************************************************************
*----------------Calculo de Presiones Laterales Sobre Pilotes-------------------*
*                                                                               *
*  Programa desarrollado por:                                                   *
*-------------------------------Ing. Juan lopera--------------------------------*
*******************************************************************************

**************************Parametros del Sistema*********************************
Gamma estrato 1 (kN/m3)                                  = 19.110
Cohesion estrato 1 (kN/m2)                               = 2.920
Angulo de friccion interna estrato 1 (grados)            = 10.000
Gamma estrato 2 (kN/m3)                                  = 18.032
Cohesion estrato 2 (kN/m2)                               = 4.120
Angulo de friccion interna estrato 2 (grados)            = 25.760
Gamma estrato 3 (kN/m3)                                  = 19.110
Cohesion estrato 3 (kN/m2)                               = 43.500
Angulo de friccion interna estrato 3 (grados)            = 0.000
Dimensiones del Pilote:
L(m)                                                     = 13.000
Diamentro(m)                                             = 0.600
Deltah modelo(m)                                         = 1.000
Separaci?n de pilotes                                    = 2.000

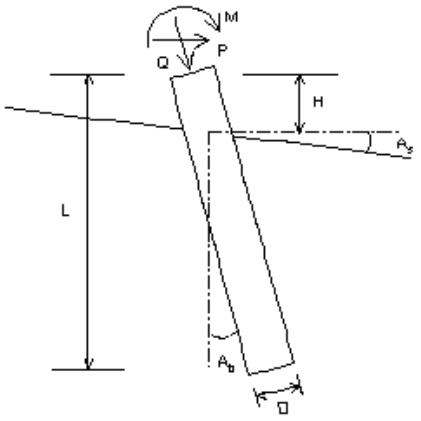

phi(gra)-C(kN/m2)-Gamma(kN/m)-Z(m)-P(kN/m2)


10.0      2.9      19.1      1.0      19.4
10.0      2.9      19.1      2.0      35.0
10.0      2.9      19.1      3.0      50.5
25.8      4.1      18.0      4.0      69.4
25.8      4.1      18.0      5.0      84.8
25.8      4.1      18.0      6.0      100.2
25.8      4.1      18.0      7.0      115.7
25.8      4.1      18.0      8.0      131.1
0.0      43.5      19.1      9.0      178.6
0.0      43.5      19.1      10.0      199.9
0.0      43.5      19.1      11.0      221.2
0.0      43.5      19.1      12.0      242.4
0.0      43.5      19.1      13.0      263.7
```

***Figura 6. 31.*** *Modulos de Balasto Pilotes del Canal de Gaviones*

# VERTICAL ANALYSIS

Figure 1




Drilled Pile (dia <=24 in. or 61 cm)

**Loads:**
Load Factor for Vertical Loads= 1.0
Load Factor for Lateral Loads= 1.0
Loads Supported by Pile Cap= 0 %
Shear Condition: Static

Vertical Load, Q= 206.4 -kN
Shear Load, P= 0.0 -kN
Slope Restain St= 0.00 -cm/-cm

**Profile:**
Pile Length, L= 13.0 -m
Top Height, H= 0.0 -m
Slope Angle, As= 1
Batter Angle, Ab= 0

Fixed Head Condition

**Soil Data:**

| Depth -m | Gamma -kN/m3 | Phi | C -kN/m2 | K -MN/m3 | e50 or Dr % | Nspt |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 19.1 | 10 | 2.12 | 1.35 | 0.75 | 10 |
| 3 | 19.1 | 10 | 2.12 | 1.35 | 0.75 | 10 |
| 4 | 18.032 | 25.8 | 4.12 | 7.1 | 0.50 | 10 |
| 9 | 19.11 | 45.3 | 43.5 | 330 | 0.01 | 10 |
| 13 | 19.11 | 45.3 | 43.5 | 330 | 0.01 | 10 |

**Pile Data:**

| Depth -m | Width -cm | Area -cm2 | Per. -cm | I -cm4 | E -MP | Weight -kN/m |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.0 | 60 | 2827.4 | 188.5 | 636172.5 | 20683 | 6.667 |
| 13.0 | 60 | 2827.4 | 188.5 | 629810.8 | 199938 | 21.646 |

Vertical capacity:
Weight above Ground= 0.00 Total Weight= 59.02-kN *Soil Weight is not included
Side Resistance (Down)= 1493.507-kN Side Resistance (Up)= 1017.037-kN
Tip Resistance (Down)= 15089.938-kN Tip Resistance (Up)= 0.000-kN
Total Ultimate Capacity (Down)= 16583.445-kN Total Ultimate Capacity (Up)= 1076.061-kN
Total Allowable Capacity (Down)= 8540.641-kN Total Allowable Capacity (Up)= 567.542-kN
OK! Qallow > Q

Settlement Calculation:
At Q= 206.43-kN Settlement= 0.06137-cm
At Xallow= 2.54-cm Qallow= 5994.16650-kN

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.

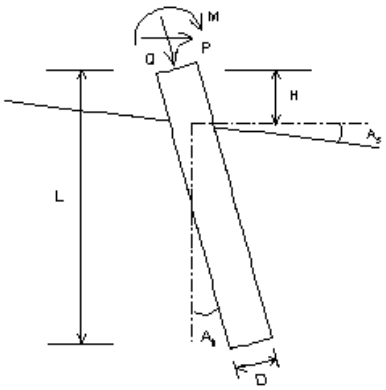
CivilTech Software

Carrera 38
Pilotes Canal Escalonado en Gaviones

***Figura 6. 32.*** *Análisis por carga vertical Pilotes del Canal de Gaviones*

## LATERAL ANALYSIS

Figure 2




Drilled Pile (dia <=24 in. or 61 cm)

**Loads:**
Load Factor for Vertical Loads= 1.0
Load Factor for Lateral Loads= 1.0
Loads Supported by Pile Cap= 0 %
Shear Condition: Static

Vertical Load, Q= 206.4 -kN
Shear Load, P= 48.8 -kN
Slope Restain St= 0.00 -cm/-cm

**Profile:**
Pile Length, L= 13.0 -m
Top Height, H= 0.0 -m
Slope Angle, As= 1
Batter Angle, Ab= 0

Fixed Head Condition

**Soil Data:**

| Depth -m | Gamma -kN/m3 | Phi | C -kN/m2 | K -MN/m3 | e50 or Dr % | Nspt |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 19.1 | 10 | 2.12 | 1.35 | 0.75 | 10 |
| 3 | 19.1 | 10 | 2.12 | 1.35 | 0.75 | 10 |
| 4 | 18.032 | 25.8 | 4.12 | 7.1 | 0.50 | 10 |
| 9 | 19.11 | 45.3 | 43.5 | 330 | 0.01 | 10 |
| 13 | 19.11 | 45.3 | 43.5 | 330 | 0.01 | 10 |

**Pile Data:**

| Depth -m | Width -cm | Area -cm2 | Per. -cm | I -cm4 | E -MP | Weight -kN/m |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.0 | 60 | 2827.4 | 188.5 | 636172.5 | 20683 | 6.667 |
| 13.0 | 60 | 2827.4 | 188.5 | 629810.8 | 199938 | 21.646 |

Single Pile Lateral Analysis:
Top Deflection, yt= 0.99600-cm
Max. Moment, M= 143.00-kN-m
Top Deflection Slope, St= 0.00000
OK! Top Deflection, 0.9960-cm is less than the Allowable Deflection= 2.54-cm

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.
The Max Moment calculated by program is an internal force from the applied load conditions. Structural engineer has to check whether the pile has enough capacity to resist the moment with adequate factor of safety. If not, the pile may fail under the load conditions.

CivilTech Software

Carrera 38
Pilotes Canal Escalonado en Gaviones

***Figura 6. 33.*** *Análisis por carga lateral Pilotes del Canal de Gaviones*

Los diseños se han realizado teniendo en cuenta un tiempo de concentración de 10 minutos y un periodo de retorno de 100 años o probabilidad de excedencia del 1%. La funcionalidad de los canales dependerá en gran medida del mantenimiento. Se recomienda evitar la acumulación de sedimentos en estos canales debido a que reducirían su capacidad hidráulica y el funcionamiento no sería el esperado.

### 6.3.2. Box Culvert

Dado el trazado del Canal CA-6, fue necesario el diseño de dos Box Culvert, el primero fue diseñado para el paso de la Carrera 38 luego de ser reconformada y el segundo para el paso del muro inferior de gaviones; en la Figura 6. 34 y en la Figura 6. 35 se presenta la localización de dichas estructuras respectivamente.

El Box trabaja con control de aguas a la entrada y por ello requiere dadas las condiciones de funcionamiento, de altura suficiente a la entrada, además de ser requerida la misma dimensión para poder efectuar el paso a través de las estructuras.

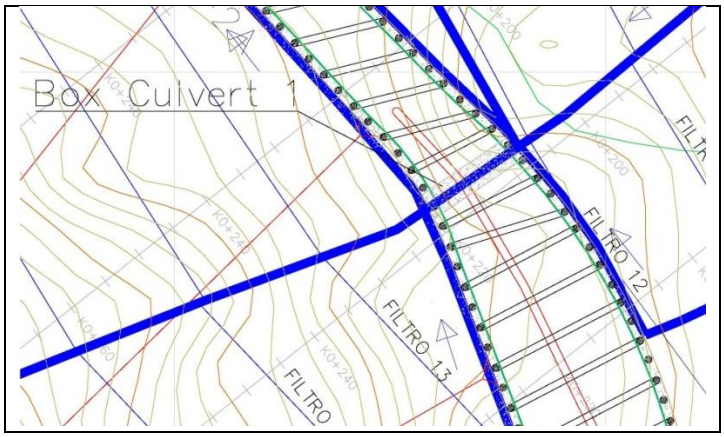



***Figura 6. 34.*** *Localización Box Culvert 1*

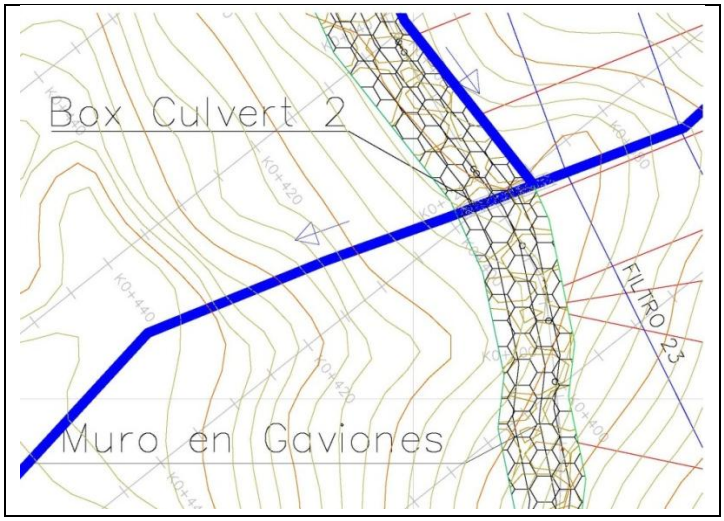



***Figura 6. 35.*** *Localización Box Culvert 2*

En la Figura 6. 36 y la Figura 6. 37 se presenta se presentan los parámetros de diseño de cada uno de las estructuras mencinoadas, teniendo en cuenta que el primer box, no lleva la

totalidad del caudal al cruzar la Carrera 38, mientras que el segundo ya lleva el 90% del caudal total.

| CALCULO BOX CULVERT | |
|---|---|
| Caudal Diseño [m³/s] (q) | 2.82 |
| Diámetro Tubería [m] (D) | 2.50 |
| Pendiente Tubería | 0.02 |
| Coeficiente de rugosidad | 0.014 |
| | |
| Área mojada tubo lleno[m²] | 4.91 |
| Perimetro mojado tubo lleno [m] | 7.85 |
| Radio Hidráulico tubo lleno [m] | 0.63 |
| Velocidad tubo lleno[m/s] (V) | 0.74 |
| Caudal tubo lleno [m³/s] (Q) | 3.62 |
| q/Q | 0.78 |
| Porcentaje para seccion llena [%] | 77.74 |
| y/D | 66% |
| y [m] | 1.65 |
| v/V | 30% |
| Velocidad real [m/s] | 0.22 |

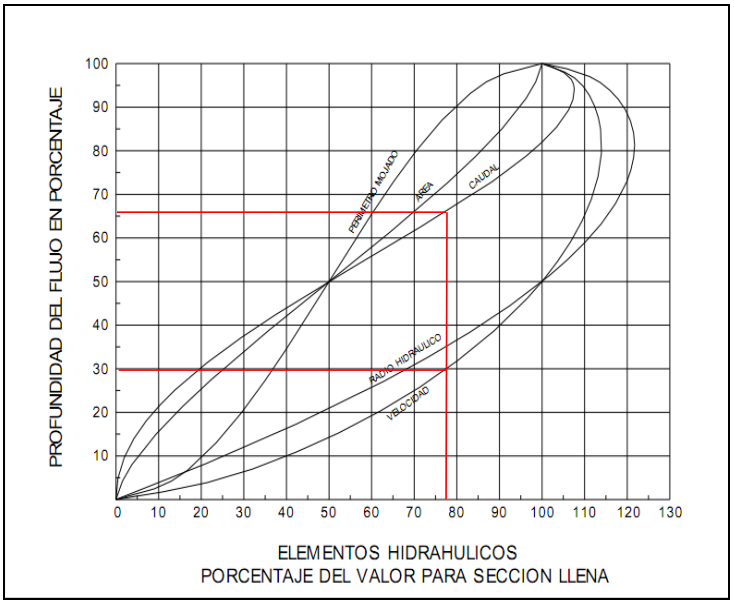



***Figura 6. 36.*** *Diseño Box Culvert Carrera 38*

| CALCULO BOX CULVERT | |
|---|---|
| Caudal Diseño [m³/s] (q) | 6.07 |
| Diámetro Tubería [m] (D) | 3.00 |
| Pendiente Tubería | 0.03 |
| Coeficiente de rugosidad | 0.014 |
| | |
| Área mojada tubo lleno[m²] | 7.07 |
| Perimetro mojado tubo lleno [m] | 9.42 |
| Radio Hidráulico tubo lleno [m] | 0.75 |
| Velocidad tubo lleno[m/s] (V) | 1.02 |
| Caudal tubo lleno [m³/s] (Q) | 7.22 |
| q/Q | 0.84 |
| Porcentaje para seccion llena [%] | 84.11 |
| y/D | 61% |
| y [m] | 1.82 |
| v/V | 24% |
| Velocidad real [m/s] | 0.24 |

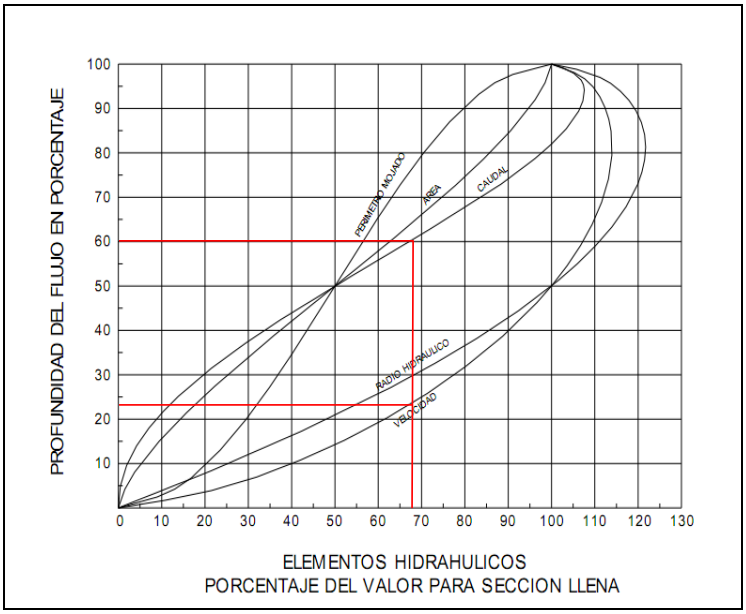



***Figura 6. 37.*** *Diseño Box Culvert Carrera 38*

Con el fin de darle estabilidad al Box culvert que atraviesa la Carrera 38, este debe estar soportado sobre tres pilotes de 0.6m de diámetro, de longitud 18m a cada lado del Box

## 6.4. OBRAS PARA EL MANEJO DE AGUAS SUBTERRANEAS

### 6.4.1. Drenes Horizontales

Las obras para el manejo de aguas subterráneas tienen por objeto, abatir el nivel freático con el fin de incrementar los esfuerzos efectivos dentro de la masa potencialmente inestable. Para llevar a cabo esta actividad, se propone una batería de drenes horizontales, consistentes en conjuntos de tres drenes en abanico, con una longitud de 30.0 metros, con un ángulo entre ellos de 30° y una inclinación de 5° respecto a la horizontal; con estas obras se logra despresurizar la masa. La Figura 6. 38 se representa un detalle del Dren horizontal.

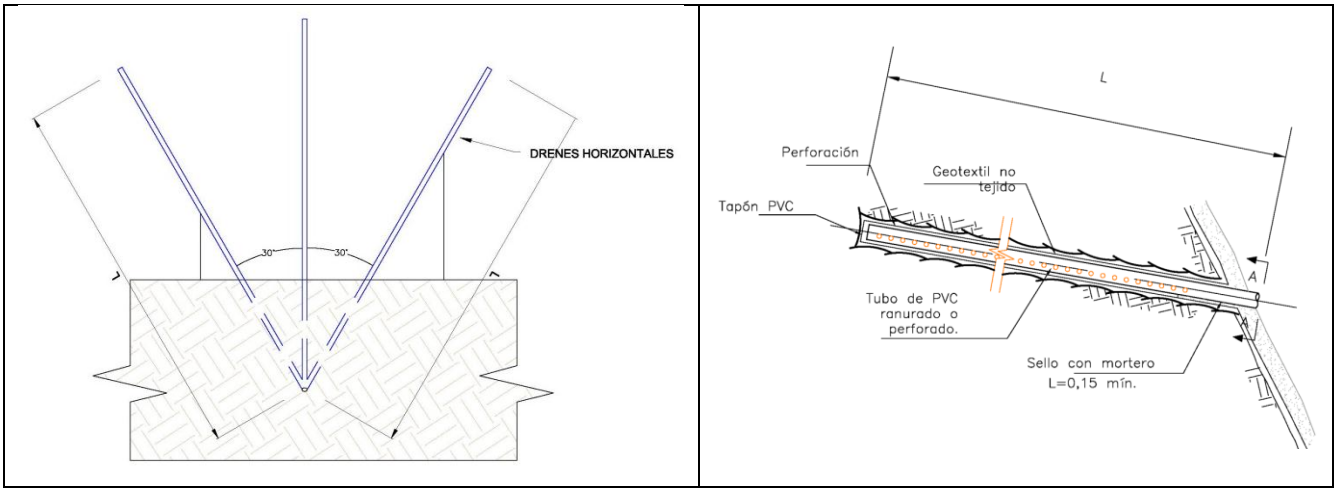



***Figura 6. 38.*** *Detalle Drenes Horizontales*

Estos drenes horizontales se localizaran en el muro en cantilever de la parte superior, atravesando el espigón del mismo.

### 6.4.2. Filtros Francés

Consisten en la construcción de zanjas en sentido de la pendiente del terreno de 4.0 m de profundidad. Estas zanjas son llenadas con capas de material granular y geotextil entre otros, creando un canal subterráneo filtrante y en la parte baja se conduce el agua recolectada por una tubería perforada PVC de 8” de diámetro (ver Figura 6. 39)

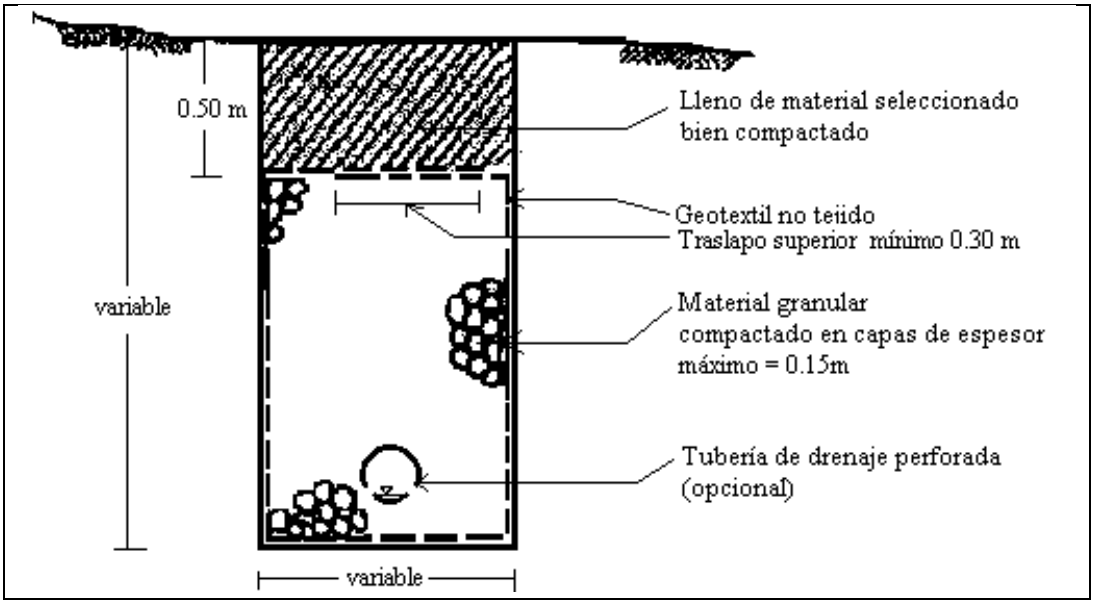



***Figura 6. 39.*** *Detalle Filtro Frances*

La finalidad de estos filtros es la de sacar del terreno lo más rápidamente posible los excesos de agua saturantes y dejarlo en una condición que impida su desplazamiento ladera abajo. A la vez el material vivo rebrota y aumenta el amarre, anclaje y cohesión del terreno. Se localizan bajo todos los canales de recolección de aguas superficiales sobre las bermas y sobre el canal central (Canal CA-6).

Deben colocarse filtros en las zonas húmedas o de eventual drenaje superficial. En estos casos es necesario construir uno o varios filtros principales y otros secundarios que desembocan en los anteriores; a esta red se le denomina “Filtro en Espina de Pescado”, y dado el alto grado de saturación del material presenten la zona, se hace necesario la construcción de un sistema de este estili. En la Figura 6. 40 se presenta la Espina de Pescado propuesta para el sector.

- Especificaciones técnicas:

Los Filtros están compuestos básicamente por material granular envuelto en geotextil y en algunos casos, para mayor efectividad y vida útil, se puede considerar la posibilidad de colocarles tubería perforada. De cualquier forma cumplirán la función de controlar las aguas de infiltración, evitar el deterioro de materiales compactados y prevenir procesos de inestabilidad por exceso de humedad. A continuación se mencionan algunas de las condiciones mínimas que deben cumplir estas estructuras.

La gradación del material filtrante y las características del geotextil deben seguir lo establecido en la Norma INVIAS 673. Para la construcción de los filtros debe utilizarse geotextil no tejido que cumpla con los criterios de serviciabilidad y drenaje. La capa de reposición que cubre el filtro construido, debe conformarse con material seleccionado bien compactado con el fin de que no se presenten deformaciones excesivas posteriores a la construcción.

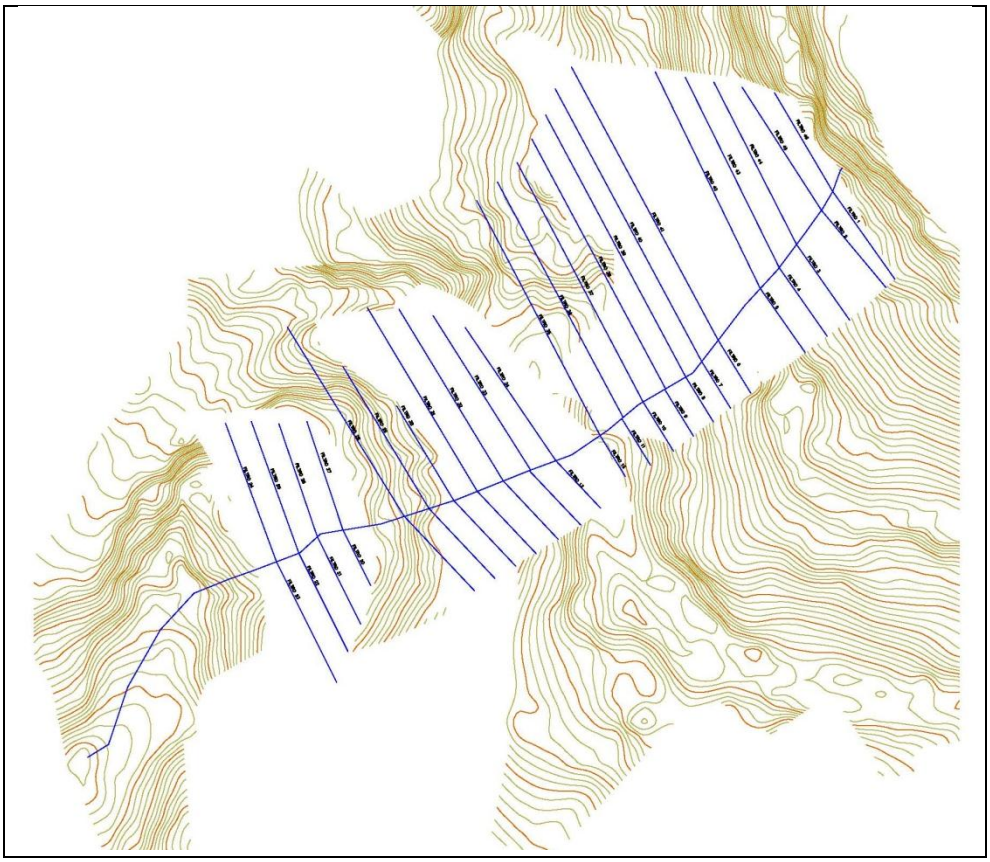


***Figura 6. 40.*** *Espina de Pescado*

### 6.4.3. Pozos de Drenaje

Con el fin de abatir el nivel freático, en la parte baja de la via, se recomienda construir pozos de 10 metros de longitud separados cada 4 metros, ya que gracias a la localización de las obras de estabilización, en este sector no se puede instalar un Filtro Drenante que se conecte a la espina de pescado presentada en la Figura 6. 40. La función principal de los pozos, será la de conducir el agua recolectada a través de tuberías hasta un dFiltro Francés que se encuentra bajo el Canal CA-8; adicionalmente, este tipo de estructuras permiten realizar periódicamente el drenaje del agua con motobomba, descargando en los pozos existentes o en los canales superficiales, con el fin de mantener el nivel freático a una profundidad mayor de 12 m y así

evitar que el material superficial permanezca saturado; se recomienda que en las épocas de lluvia este drenaje se debe realizar de forma consecutiva para evitar que el nivel freático aumente. En la Figura 6. 41 se presenta un detalle de típico de los pozos drenantes, mientras que en la Figura 6. 42 se presenta su localización en el sector. Dependiendo de las dificultades durante construcción, se recomienda la construcción de drenes horizontales que permital la fácil y rápida evacuación del agua atrapada por los pozos.

La localización de los pozos se muestra en el del Anexo A5 “Planos de Prediseño”.

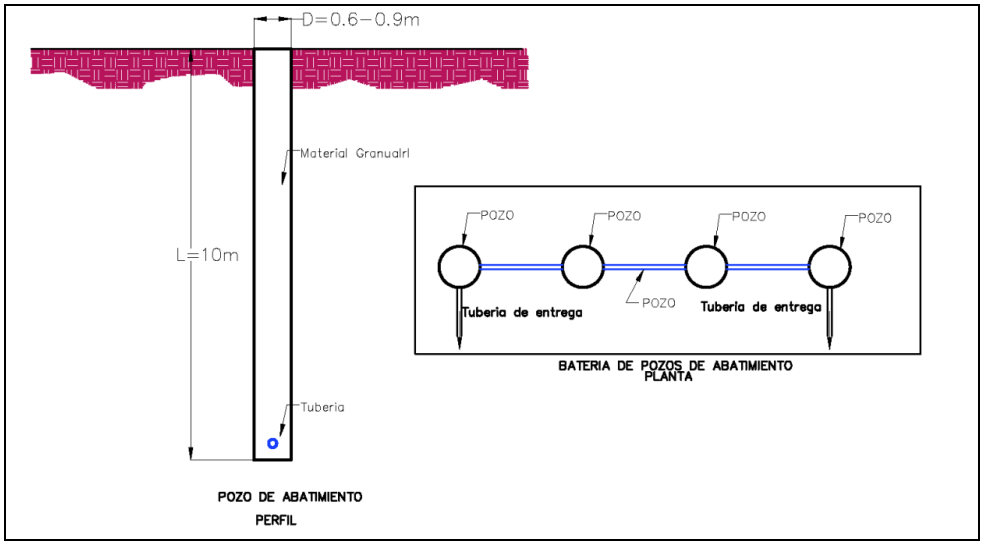



***Figura 6. 41.*** *Detalle Típico Pozos drenantes*

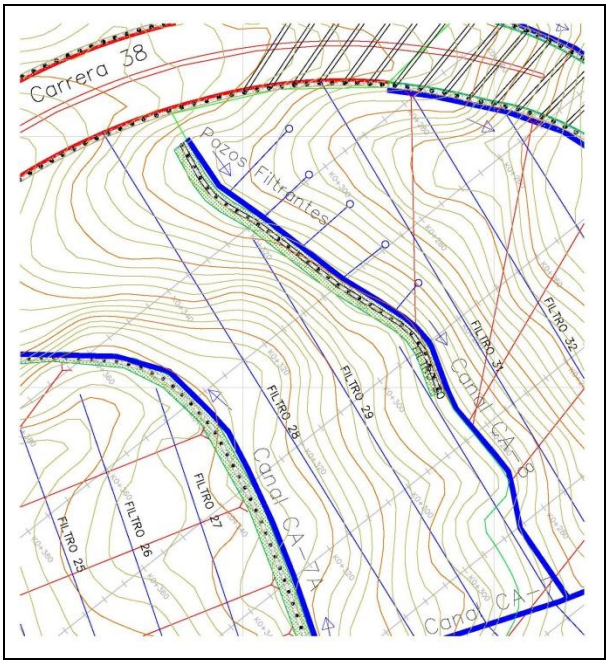



***Figura 6. 42.*** *Localización Pozos drenantes*

## 6.5. OBRAS PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN

En esta sección se presentan los aspectos ambientales, principios y fundamentos básicos para el uso de la vegetación como elemento complementario en la solución de los problemas de inestabilidad del área y formular criterios generales para una adecuada selección de las especies vegetales.

Se pretende proporcionar un contexto ambiental de los sitios en donde se presentan los deslizamientos y proporcionar pautas y principios básicos para el uso de la vegetación como elemento complementario en la solución de los problemas de inestabilidad del área formular criterios generales para una adecuada selección de las especies vegetales.

### 6.5.1 El Concepto de Bioingeniería

La bioingeniería es una rama de la ingeniería que aplica un conjunto de técnicas y métodos que tienen como objeto la reforestación de suelos degradados por procesos naturales o actividades humanas para integrarlos al paisaje y estabilizar los procesos gravitacionales.

### 6.5.2 La Vegetación como Elemento Estabilizador

Normalmente la vegetación es utilizada en las obras de ingeniería como reductor del impacto visual ocasionado por la intervención de las obras en el medio como elemento que contribuye al mejoramiento de la calidad paisajística del área.

Sin embargo, la vegetación puede jugar también un papel importante en el control de procesos erosivos y como elemento de proyección, protegiendo y sosteniendo el sueño en profundidad, aumentando la resistencia y la cohesión de los terrenos.

La vegetación, dependiendo de las características de sus raíces (profundidad, extensión, dimensiones, etc) cumple un papel importante en la estabilización de taludes y prevención de deslizamientos que se presentan cuando la cobertura vegetal del suelo es destruida o cuando la inestabilidad existente se acrecienta por cortes inadecuados o por la infiltración del agua, la cual puede ser controlada superficialmente.

### 6.5.3 Efectos físicos de la vegetación

Desde el punto de vista físico, el papel que cumple la vegetación y los árboles en particular se puede resumir en los siguientes aspectos:

- ✓ Contención física al actuar como “pilotes o anclas”, ya que trabajan en sentido vertical o inclinado estableciendo “tejido o amarre” y por lo tanto minimizando el efecto de “rodadero” en el cual una masa o capa superior se desliza sobre la otra inferior ayudada por la presencia de agua que actúa como lubricante.
- ✓ Disminuyendo la exposición de los suelos a los efectos provenientes del impacto vertical de la lluvia o por arrastre (escorrentía) del agua.
- ✓ “Impermeabilización” parcial de la superficie del terreno, desviando las corrientes o flujos de agua o disminuyendo significativamente la percolación.
- ✓ Regular la saturación en el suelo, en la medida en que esta estrategia se considera necesaria, por ejemplo en laderas inclinadas con riesgo de deslizamiento por carga hidrostática.

Por tanto, la importancia de la vegetación radica en la protección física que le otorga al suelo, por medio de la intercepción directa de la precipitación, o a través de la hojarasca, que protege al suelo del impacto de las gotas de lluvia y su rugosidad sobre la escorrentía superficial. En el mejoramiento de las características mecánicas del suelo, proporcionando mayor refuerzo a través del sistema radicular y modificando propiedades de los suelos como estructura y permeabilidad, entre otras.

### 6.5.4 Zonas de vida

El Área de Influencia del tramo vial objeto del estudio forma parte del Cinturón Árido Peri-caribeño que corresponde a la planicie costera del mismo nombre que incluye los Departamentos de Córdoba, Bolívar, Sucre, Atlantico, Cesar, Magdalena y la Guajira.

El bioma predominante según el sistema de clasificación de Hernández (1990) es el Zonobioma Tropical Alternohígrico el cual corresponde al Bosque Seco Tropical de Holdrigde. El régimen climático se caracteriza por períodos secos muy prolongados, en general tiene como limites climáticos una temperatura media superior a 24° C y un promedio de lluvia anual entre 1000 y 2000 mm.

La vegetación de este zonobioma presenta adaptaciones especiales relacionadas con el acceso al agua del suelo y la profundidad real del mismo relacionada con raíces horizontales muy largas o verticales muy profundas.

### 6.5.5 Suelos

Las condiciones ambientales del área de estudio propician un patrón de suelos que va desde los Regosoles, Phaeozems y Leptosoles, en las partes montañosas, hasta Vertisoles en las mesetas y planicies.

Según sus características hidrológicas, los suelos de montaña con vegetación poco alterada se clasifican como suelos con un moderado bajo potencial de escurrimiento (Grupo Hidrológico B), mientras que los de la primera terraza se caracterizan por tener un moderado alto potencial de escurrimiento (Grupo Hidrológico C); por su parte, los materiales del talud de la terraza estructural dentro del Grupo Hidrológico B, si tienen vegetación y dentro del *Grupo C*, si la vegetación está muy degradada; finalmente, los suelos con un alto potencial de escurrimiento (Grupo D) se presentan en la planicie y las cimas planas.

En síntesis, los suelos se caracterizan por ser planos y ondulados, predominantemente superficiales a moderadamente profundos, limitados con manto rocoso, de bien a excesivamente drenados, de texturas gruesas a moderadamente fina y de baja fertilidad. Son tres básicamente los determinantes de la limitación de producción agrícola: el déficit de humedad durante gran parte del año, la baja capacidad de retención de la humedad y la poca disponibilidad de nutrientes.

### 6.5.6 Selección de las Especies Vegetales

✓ *El proceso de selección de especies vegetales:*

Para seleccionar las especies más idóneas a establecer en el área de estudio se consideraron una serie de criterios morfológicos y fisiológicos, los cuales se consignaron en una matriz de doble entrada.

Desde el punto de vista morfológico de las especies se analizan características como: sistema radicular, fuste, copa y follaje, y porte. Fisiológicamente se consideraron relevantes los siguientes aspectos: rusticidad, resistencia a podas, crecimiento y ciclo de vida.

Esto es, la vegetación seleccionada debe cumplir con ciertos atributos que permitan la protección de las laderas y taludes de los procesos erosivos, a través de la fijación del suelo, aumento de la evapotranspiración e incrementar la retención y retardación del flujo superficial.

Para esto, es necesario que la cubierta vegetal posea características morfológicas y ecofisiológicas como:

- Follaje grande y fuerte
- Propagación sencilla y rápida
- Sistema radicular profundo
- Rápido crecimiento
- Resistencia contra la sedimentación
- Preferiblemente especies autóctonas
- Especies rústicas (pioneras, invasoras), poco exigentes a la calidad de sitio
- Que requieran mínimas labores de mantenimiento, como riego, aplicación de fertilizantes, limpieza, podas. etc.
- Resistencia a las plagas y enfermedades
- Resistencia al fuego y recuperación rápida después de los incendios
- Que sean poco palatables (apetecidas por el ganado)
- En algunos caos de acuerdo a las circunstancias, que ofrezcan alguna utilidad a las comunidades.

Aunque las plantas con medios de propagación vegetativa, como estolones, rizomas o brotes de raíz, son medios más vigorosos y rápidos en la colonización de nuevas zonas que las que se propagan por semillas, se reitera que la prioridad es estabilizar las laderas del área y para ello las especies con sistemas radicales profundos son las más indicadas.

Es importante precisar que la decisión final sobre las especies que deben plantarse y cultivarse como complemento a las obras de estabilización geotécnica será de responsabilidad del constructor de las obras, quien deberá escoger, dentro de las especies apropiadas, las que desde su punto de vista ingenieril, estético y ambiental representen mejor su concepción ambiental en cuanto a factores como porte, vistosidad, colorido, morfología, integración paisajística etc.

En lo que se refiere a las obras de drenaje se expone a continuación una serie de recomendaciones de carácter general acerca de als especies a establecer como mecanismo complementario de estabilización y de protección de las obras, siguiendo como referencia el Plan de Ordenamiento del Distrito de Barranquilla, recomendaciones que deberán revisarse de acuerdo con las características particulares de cada obra una vez construida:

Las aguas superficiales y subsuperficiales del área se manejarán mediante la construcción de obras de drenaje, las cuales deberán mantenerse visibles pero protegidas con vegetación

herbácea en sus alrededores para que proteja la estructura de los efectos de la lluvia y permita el libre tránsito del personal encargado del mantenimiento.

Inmediatamente después se recomienda plantar hileras de pasto vetiver a un intervalo vertical de 50 centímetros en línea paralela a la obra y posteriormente árboles o arbustos teniendo en cuenta el nivel de intrusividad de la raíz para que no ejerzan presión sobre la estructura de la obra.

### 6.5.7 Estabilización del Sector con tratamientos de Bioingenieria.

El objetivo es complementar las obras de ingeniería geotécnica propuestas para el sector con técnicas de bioingeniería a fin de aumentar su vida útil y contribuir al control de las causas generadoras de deslizamientos.

La bioingeniería es una rama de la ingeniería que integra una serie de técnicas para el control de erosión, protección y estabilización de taludes y laderas mediante la construcción de estructuras, en las que se utiliza como elemento principal de estabilización la vegetación o combinada con estructuras inertes como muros de contención, gaviones, pantallas ancladas, geotextiles entre otros.

***Recubrimiento o empradización de los taludes***

Dadas las condiciones ambientales prevalentes en el área de influencia directa de la vía, para el recubrimiento y posterior empradización del talud se recomienda regar semillas de grama (*Paspalum sp*) y cubrir con mantos de control de erosión tipo agromanto y/o Landlok tipo S2, un tejido de fibras de fique y/o fique-coco, dispuestas entre una o dos mallas del mismo material natural o de polipropileno que garantizan la protección del suelo y el buen establecimiento de la vegetación.

***Empradización de las bermas***

Para la empradización de las bermas se recomienda proceder así:

Limpiar y arreglar la superficie de la berma, dejándola libre de materiales sobrantes de construcción, adicionar una capa de tierra vegetal (capa orgánica resultante del descapote) de mínimo 5 centímetros de espesor y esparcir por toda la berma. Una vez conformado el suelo y con el fin de agilizar el cubrimiento de área a empradizar, el contratista de obra podrá colocar tapetes o cespedones de grama (*Paspalum sp*). La siembra deberá realizarse al inicio y durante

el primer tercio de los períodos lluviosos del año (finales de Abril -principios de Mayo y finales de Septiembre-principios de Octubre).

***Empradización de las áreas aledañas al muro cantiléver con Pasto Vetiver***

Con el objeto de proteger, aumentar la vida útil y mantener visible el muro, se recomienda empradizar las zonas aledañas con pasto Vetiver (*Chrysopogon zizanioides)* antes *vetiveria zizanioide,* una medida muy simple, práctica, económica, de bajo mantenimiento y muy efectiva para la conservación del suelo, el agua, control de la sedimentación y estabilización de los taludes inestables.

Para llevar a cabo esta práctica se recomienda cavar zanjas de aproximadamente 20 x 20 cms en sentido contrario a la pendiente del talud y sembrar espigas bien enraizadas en el centro de cada hilera a intervalos de 30 cms, cubrir las raíces con 2 cms de suelo orgánico, compáctarlo firmemente y fertilizarlo con una formula NP con alto contenido de fósforo (generalmente DAP). Las cantidades de abono y fertilizante a aplicar en cada caso se determinan con los resultados de los análisis de suelo. El riego se recomieda realizarlo el mismo día de la siembra.

# 7. CANTIDADES DE OBRA

A continuación se presenta un presupuesto preliminar para la construcción de las obras de estabilización y protección para el Sector de la Carrera 38. Sin embargo vale la pena aclarar los siguientes aspectos:

1. Las cantidades de obra calculadas se hicieron con base en cubicaciones de acuerdo a las secciones de análisis. Por lo tanto estas cantidades de obra corresponden a una aproximación de las cantidades reales que deberán ser estimadas de acuerdo a las condiciones presentes en el campo al momento de iniciar la obra.
2. Las cantidades correspondientes a rellenos y cortes se calcularon haciendo uso de la topografía entregada al incio del proyecto. De haber cambios en la condición actual de la zona de estudio, se deberá recalcular las cantidades aquí presentadas.

En la Tabla 7. 1 se presentan las cantidades de obra correspondientes a las obras generales.

| ITEM | DESCRIPCION | UN | CANTIDAD |
|---|---|---|---|
| ***1*** | ***ACTIVIDADES PRELIMINARES DE CONSTRUCCION*** | | |
| 1.1 | Movilización y desmovilización | GL | 1.00 |
| 1.2 | Localización y replanteo | M2 | 94364.49 |
| ***2*** | ***MOVIMIENTOS DE TIERRA*** | | |
| 2.1 | Excavación mecánica para Terraceo | M3 | 22059.89 |
| 2.2 | Excavación manual para canales | M3 | 13499.39 |
| 2.3 | Excavación manual para Filtros - Zanjas | M3 | 12628.98 |
| 2.4 | Excavación manual para Pozos Drenantes | M3 | 109.08 |
| 2.5 | Relleno de Material seleccionado para Muros | M3 | 1976.77 |
| 2.6 | Relleno de Material seleccionado para Terraceo | M3 | 81789.31 |
| ***3*** | ***ESTRUCTURAS DE CONTENCION*** | | |
| 3.1 | Muro en Cantilever | M3 | 287.37 |
| 3.2 | Gaviones para Muro | M3 | 4560.00 |
| 3.3 | Pilotes en concreto | M3 | 5377.15 |
| 3.4 | Pilotes en Suelo-Cemento | M3 | 2496.44 |
| 3.5 | Viga Cabezal | M3 | 699.39 |
| 3.6 | Anclajes Tipo 1 | UN | 451.00 |
| 3.7 | Viga de Amarre | M3 | 316.55 |
| 3.8 | Lloraderos | M3 | 68.00 |

| ITEM | DESCRIPCION | UN | CANTIDAD |
|---|---|---|---|
| ***4*** | ***ESTRUCTURAS DE CONTROL DE AGUAS SUPERFICIALES*** | | |
| 4.1 | Canales seccion rectangular | ML | 1500.82 |
| 4.2 | Canales seccion trapezoidal | ML | 523.88 |
| 4.3 | Cunetas seccion triangular | ML | 181.72 |
| 4.4 | Canal en Gaviones | ML | 547.74 |
| 4.5 | Disipadores de energía | UN | 8.00 |
| 4.6 | Box Culvert | M3 | 438.73 |
| ***5*** | ***ESTRUCTURAS DE CONTROL DE AGUAS SUBTERRÁNEA*** | | |
| 5.1 | Drenes Horizontales | UN | 15.00 |
| 5.2 | Filtro Francés | ML | 3946.55 |
| 5.3 | Pozos drenantes | UN | 5.00 |
| 5.4 | Caja de control Filtros | M3 | 15.43 |
| ***6*** | ***PROTECCION AMBIENTAL (BIO-INGENIERIA)*** | | |
| 6.1 | Gemanto Landlok | M2 | 46383.09 |
| 6.2 | Reforestacion bermas | M2 | 3470.32 |
| 6.3 | Vegetación Muro | M2 | 301.81 |
| ***7*** | ***VARIOS*** | | |
| 7.1 | Concreto de 3000 psi | M3 | 7134.63 |
| 7.2 | Concreto de 2500 psi | M3 | 252.13 |
| 7.3 | Refuerzo | Kg | 22.16 |
| ***8*** | ***ACTIVIDADES FINALES*** | | |
| 8.1 | Limpieza final | GL | 1.00 |

***Tabla 7. 1*** *Cantidades de obra*

# 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De lo expuesto anteriormente se concluye:

- ✓ El factor determinante de inestabilidad en la zona es la el grado de saturación de los materiales presentes en la zona, así como las pobres características geotécnicas del material arcilloso-arenoso alforante en la zona de estudio.

- ✓ En la zona afloran suelos arcillo-arenosos de la formación perdices que se caracterizan por su baja resistencia. Los parámetros de resistencia en condición residual corresponden a 10 grados. Este valor se ha adoptado en los diseños, debido a que la masa inestable ha sufrido grandes desplazamientos y los parámetros de resistencia se encuentran en condición residual.

- ✓ La ladera tiene una predisposición natural a permitir el ingreso de agua y a retenerla en algunos de los estratos que la conforman, generando así sobre carga y fluidificación cuando se somete a esfuerzos considerables producto de su peso.

- ✓ Antes de la intervención, chequear que no hay infraestructura estratégica al interior del deslizamiento. Para la zona alta, evaluar la habitabilidad de las viviendas localizadas arriba de la corona y propender por su compra, subsidio para relocalizarlas o posibilidades de reubicación. EATO NO PUEDE IR ELIMINAR. NOS METEMOS EN PROBLEMAS

- ✓ Igualmente, disponer el material más resistente producto de la descarga del talud en la pata del movimiento generando un dique de protección. NO EL MATERIAL NO SE RECOMIENDA REULILIZAR DEBIDO A LO MALO. ELIMINAR

- ✓ Iniciar las obras de mitigación por la parte superior del deslizamiento; en particular buscar una alternativa de captación muy controlada de las aguas lluvias y efectuar de manera controlada el descargue generalizado desde el sector superior (corona), hacia la pata del deslizamiento. ELIMINAR. ESTO LO SOLUCIONAMOS CON EL DISEÑO

- ✓ Dentro del estudio, la solución corresponde movimiento de tierras, sistema de dranje y sub-drenaje, pantallas ancladas, pilotes y repoblación forestal. Teniendo en cuenta que el agente detonante en la mayor parte de los fenómenos de inestabilidad en los cerros nor-

occiedentales de Barranquilla, es el agua, la primera actividad a realizar para garantizar la estabilidad de la obra, corresponde a la construcción del sistema de drenaje superficial y profundo. Esta actividad es necesario iniciarla desde la parte superior del talud, con el fin de ir dándole un manejo adecuado al agua de escorrentía, evitando de esta manera la divagación e infiltración de la misma.

- ✓ Es necesario que la primer fase de la obra sea la construcción de los sistemas de Espina de Pesacdo de los Filtros Franceses, ya que a la medida que se logre disminuir el grado de saturación del suelo, la respuesta de las obras propuestas será mejor y dado el caso de una ola invernal, se controlará un posible deslizamiento.

- ✓ Para la construcción de los pilotes se recomienda que sean pre-excavados y fundidos en el sitio, penetrando en la arcillolita inalterada, al menos 4.0 metros. Distante el proceso de perforación, se debe tener presente la existencia de al menos 3.0 metros de arcillolita fracturada, la cual es necesario atravesar y que en algunas ocasiones se presenta muy compacta. Por ningún motivo los pilotes podrán quedar embebidos en esta capa de arcillolita fracturada.

- ✓ Dada la dinámica del sector, es necesario que la fase constructica de las vigas cabezales y los anclajes de las mismas estén cercanos a la construcción de los pilotes, ya que cualquier retraso en estas obras puede generar esfuerzos para los que no están diseñados los elementos estructurales aca propuestos. Se recomienda que el proceso cosntructivo de los pilotes y viga cabezal sea continuo, es decir, cada cinco pilotes, se deberá proceder a construír y fundir la respectiva viga cabezal. Es importante destacar que los pilotes están diseñados para trabajar en grupo. Dejar los pilotes sueltos demasiado tiempo podrá generar la eventaul falla de alguno de estos elementos estructurales.

- ✓ Una vez fundido el pilote, se deberá proceder al descabece del mismo, ya que la parte superior corresponde a una mezcla de concreto y arcilla, haciendo que el pilote en su parte superior se encuentre contaminado.

- ✓ Con el fin de evitar eventuales agrietamientos de la viga cabezal y muro en cantiliver se requiere el adecuado curado del concreto, se recomienda suministrar de suficiente agua a las estructuras durante los ocho días siguientes a su construcción.

- ✓ La arcillolita sobre la cual van a quedar embebidos los pilotes, se caracterizan por su alta resistencia en condición natural. Sin embargo durante su exposición al medio ambiente, sufre una pérdida importante de la resistencia. Esto implica que no es recomendable dejar la arcillolita expuesta durante largos periodos de tiempo, ya que sufrirá un proceso de alteración irreversible.

- ✓ Durante el proceso de construcción de los pilotes pre-excavados, se recomienda de igual manera que la excavación este el menor tiempo posible expuesta al medio ambiente, para evitar los efectos de alteración de la arcillolita. Es importante destacar por otro lado, que el material se encuentra en unas condiciones precarias de estabilidad, por lo que se recomienda que la construcción de los pilotes se haga con la mínima cantidad de agua, ya que grandes inyecciones de este fluido podrá generar problemas de inestabilidad hacia la parte inferior del talud. Este hechos se va a manifestar por un incremento de los caudales que actualmente se desplazan por la ladera.

- ✓ Dado el ambiente agresivo de la ciudad de Barranquilla, es necesario cumplir con las recomendaciones estructurales referentes al curado del concreto para las obras propuestas, ya que por los aumentos de temperatura en la ciudad las resistencias esperadas pueden ser mucho mas bajas, afectando el comportamiento de las obras.

- ✓ El sistema de drenajes y subdrenajes es fundamental para el adecuado manejo tanto de las aguas superficiales como subterráneas. Debido a que estas obras se pueden colmatar fácilmente con la disposición de basuras por parte de los moradores del sector, se hace necesario realizar un mantenimiento periódico de las mismas.

- ✓ Los geomantos son necesarios para eliminar eventuales procesos erosivos que afecten la estabilidad de los taludes. Adicionalmente, estos deberán proteger las semillas propuestas de especies nativas. Debido a los fuertes periodos de sequía que afectan periódicamente a Barranquilla, es necesario realizar un riego permanente de los taludes, con el fin de evitar la resequedad de las plántulas. Recordar que el talud es necesario protegerlo de la erosión eólica y pluvial, es por esto que el talud deberá permanecer protegido con especies nativas de la región.

- ✓ Remover todo el material de relleno de escombros y basuras detectados durante la fase de reconformación de los taludes. Esto es de suma importancia, ya que este material se

puede convertir en una superficie potencial de debilidad, y por tanto eventuales deslizamientos se podrán presentar a través de ellos.

- ✓ Es necesario evitar el aporte de aguas negras al talud, por parte de los moradores de ciudad Jardín. Es importante recordar que este aporte de aguas negras fue uno de los agentes detonantes que causó el deslizamiento de la carrera 38. Por tanto se recomienda cambiar todo el sistema de recolección de aguas negras y reemplazarlo por uno nuevo. Este sistema deberá ser visible y ubicado en la parte superior del muro de contención, de manera que sea fácilmente detectable cualquier rotura de la tubería y su reemplazo sea inmediato.

- ✓ Durante el proceso de excavación de los pilotes se deberá evitar la exposición de la arcillolita al medio ambiente, y en lo posible que sea el menor tiempo posible. Esta roca, se caracteriza por presentar una resistencia relativamente alta, pero su exposición durante largos periodos de tiempo (horas), ocasionará una pérdida de resistencia importante (hasta un 50%), del valor inicialmente medido. Lo anterior implica que la longitud de empotramiento del pilote se podrá ver disminuida de manera notoria, perdiendo parte de su funcionalidad.

- ✓ Recalce del pilote**.** Es importe tener en cuenta, que durante la fundida del pilote, el concreto durante su ascenso, irá arrastrando material suelto de las paredes de la excavación, y al final, este material quedará ubicado en la parte superior del pilote. Este material es necesario retirarlo, ya que de lo contrario se creará una superficie de debilidad entre la cabeza del pilote y la viga cabezal.

- ✓ Debido a que el material aflorante en la zona (arcilla arenosa), es altamente susceptible de verse afectada por la erosión eólica o pluvial, una vez se construyan los taludes finales, se recomienda proceder a la protección de los mismos mediante suelo orgánico y las especies vegetales recomendadas en el presente estudio. Una vez realizada esta labor, se procederá a proteger el terreno con mantos para revegetalización BIOTEX (GeoMatrix), el cual está compuesto por fibras fotodegradables de color natural compatibles con el medio ambiente.

- ✓ Debido a las pobres características del material aflorante en la zona, no es posible ni recomendable tener taludes con pendientes superiores a 10º (diez grados). La protección

de la totalidad de los taludes con BIOTEX, es fundamental para la durabilidad de las obras propuestas.}

- ✓ Una vez instalados los anclajes se deberán realizar pruebas de carga, aplicando para ello, cargas equivalentes a un 20% adicional a la carga de diseño. Para esto se escogerán de manera aleatoria los anclajes de prueba.

- ✓ Luego de la limpieza de la Carrera 38, se recomienda realizar un estudio detallado para el diseño de la estructura del pavimento para la reconformación de la via, ya que a partir de dicho diseño, se pueden modificar ligeramente las obras propuestas para la protección de la vía.

- ✓ Para garantizar el adecuado comportamiento de las obras que se proponen, es necesario construir la totalidad de las obras propuestas en el presente estudio, debido a que estas actúan de manera integral. El hecho de dejar estructuras a medias, incompletas o no construidas, podrá afectar la estabilidad general de las obras propuestas en el presente estudio.

# 9. ANEXOS

# ANEXO A1: UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES

## ANEXO A2: REGISTROS DE PERFORACION

# ANEXO A3: ENSAYOS DE LABORATORIO

# ANEXO A4: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

# ANEXO A5: PLANOS DE PREDISEÑO

# ANEXO A6: DISEÑO ESTRUCTURAL MURO EN CANTILEVER

# ANEXO A7: CARGAS Y DISEÑO PILOTES

# ANEXO A8: DISEÑO ESTRUCTURAL DE PILOTES