

**PREDISEÑO DE OBRAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA LADERA DEL
ACCESO SUROCCIDENTAL AL PUENTE DE LAS SARDINAS DE LA VIA
CHAGUANÍ – VIANÍ, EN CUNDINAMARCA.**

**JAVIER FELIPE RIVERA TELLEZ
JUAN SEBASTIAN OSORIO PARDO**



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

BOGOTA D.C

2021

**PREDISEÑO DE OBRAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA LADERA DEL
ACCESO SUROCCIDENTAL AL PUENTE DE LAS SARDINAS DE LA VIA
CHAGUANÍ – VIANÍ, EN CUNDINAMARCA.**

JAVIER FELIPE RIVERA TELLEZ

Código: 2200315

JUAN SEBASTIAN OSORIO PARDO

Código: 2200683

Trabajo de grado presentado para optar por el título de Ingeniero Civil

JUAN MIGUEL SÁNCHEZ DURÁN

Ing. Civil (Director)

CARLOS EDUARDO TORRES ROMERO

Ing. Civil (Co-Director)



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

BOGOTA D.C

2021

AGRADECIMIENTOS

Principalmente damos gracias a Dios por ser nuestra guía, llenarnos de paciencia y sabiduría para culminar con éxito esta etapa universitaria. A nuestros padres y hermanos, por ser un apoyo incondicional desde el inicio hasta el fin de este pregrado, por estar siempre para nosotros con un consejo y sonrisa para superar cualquier obstáculo que se presentara en el camino.

Agradecemos también al Ingeniero Juan Miguel Sánchez, director del presente trabajo de grado por su guía, apoyo y tiempo aportado con el fin de realizar de manera exitosa este proyecto.

Por último, a compañeros, amigos y personas que directa o indirectamente hicieron posible la culminación de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	10
JUSTIFICACIÓN	11
OBJETIVOS	12
OBJETIVO GENERAL	12
OBJETIVOS ESPECIFICOS	12
MARCO REFERENCIAL.....	13
MARCO CONCEPTUAL.....	13
MARCO TEORICO	14
METODOLOGIA	35
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	35
LOCALIZACIÓN	36
TOPOGRAFIA	37
TOPOGRAFIA GENERAL DE CHAGUANÍ.....	37
TOPOGRAFIA DE LA ZONA DEL PROYECTO	37
PERSONAL Y EQUIPOS	41
GEOLOGIA	43
CLIMA.....	45
DESCRIPCIÓN DEL DESLIZAMIENTO	46
PLAN DE EXPLORACIÓN DEL TERRENO Y ENSAYOS.....	53
EXPLORACIÓN DIRECTA	53
SONDEO MANUAL	55
SONDEO 1.....	55
SONDEO 2.....	60
SONDEO 3.....	62
RESULTADOS DE LABORATORIO.....	65
ANÁLISIS DE LOS PARAMETROS.....	67
ANÁLISIS SPT.....	72
PARAMETROS OBTENIDOS ENSAYO SPT.....	74
PERFILES ESTRATIGRAFICOS	76
PERFIL ESTRATIGRAFICO DE DISEÑO	78

OBRAS DE CONTENCIÓN PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA LADERA	83
OBRAS DE BIOINGENIERÍA	83
SELECCIÓN DE OBRAS DE BIOINGENIERÍA	83
TRINCHOS VIVOS ESCALONADOS	85
PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LA GUADUA	87
PREDISEÑO DE OBRA DE CONTENCIÓN	89
ANALISIS DE CARGA LATERAL	89
ANALISIS SISMICO	96
OBRAS DE CONTENCIÓN EN SOFTWARE SLIDE	100
SEPARACIÓN ENTRE PILOTES.....	100
VALOR DEL ESFUERZO CORTANTE DEL MATERIAL DEL PILOTE	101
IMPLEMENTACIÓN DE PILOTES.....	102
ANALISIS SEUDOESTÁTICO	103
ANALISIS ESTATICO	105
UBICACIÓN GENERAL DE LOS TRINCHOS.....	107
UBICACIÓN GEOGRAFICA TRINCHOS.....	111
CONCLUSIONES	112
BIBLIOGRAFIA	115
ANEXOS	119

LISTA DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Partes de un deslizamiento. Fuente: Suarez,2001	16
Figura 2. Medición de un deslizamiento. Fuente: Suarez, 2001	17
Figura 3. Ecuación para el cálculo del volumen del desplazamiento. Fuente: Suarez,2001	18
Figura 4. Angulo de desplazamiento. Fuente: Suarez, 2001.....	18
Figura 5. Tipo de deslizamiento Caído. Fuente: Suarez, 2001	19
Figura 6. Acumulación de caídos. Fuente: Suarez, 2001.....	20
Figura 7. Volcamiento. Fuente: Suarez,2001.....	21
Figura 8. Reptación. Fuente: Suarez,2001	21
Figura 9. Deslizamiento rotacional. Fuente: Suarez,2001	22
Figura 10. Deslizamiento de traslación. Fuente: Suarez, 2001	22
Figura 11. Clasificación de deslizamientos Cruden & Varnes. Fuente: Cruden & Varnes, 1996	23
Figura 12. Estado de la Actividad. Fuente: WP/WLI, (1993)	24
Figura 13. Distribución de la actividad. Fuente: WP/WLI, (1993)	25
Figura 14. Estilos de Actividad. Fuente: WP/WLI, (1993)	25

Figura 15. Actividad del deslizamiento. Fuente: Cruden & Varnes, 1996.....	26
Figura 16. Descripción primer y segundo movimiento. Fuente: Cruden & Varnes,1996	26
Figura 17. Efectos de la vegetación sobre la estabilidad de una ladera. Fuente: Rivera,2012	34
Figura 18. Localización General del Proyecto. Fuente: Propia	36
Figura 19. Topografía de la zona vista en planta. Fuente: Propia.....	38
Figura 20. Posicionamiento de puntos topográfico base. Fuente: Propia	39
Figura 21. Levantamiento RTK. Fuente: Asema Ingeniería.....	40
Figura 22. Sistema de coordenadas del proyecto, Fuente propia.....	41
Figura 23. Matricula profesional topógrafo. Fuente: Juan David Guzmán Rubiano.....	42
Figura 24. Especificación Técnica Equipo GNSS. Fuente:ACDI/VOCA.....	43
Figura 25. Mapa Geológico de Chaguaní. Fuente: Atlas Geológico de Colombia 2015 (IGAC) 44	44
Figura 26. Temperatura máxima y mínima promedio en Chaguaní Cundinamarca. Fuente: Merra-2.....	45
Figura 27. Precipitación de lluvia mensual promedio. Fuente: Merra-2	46
Figura 28. Afloramiento de agua en la zona de estudio. Fuente: propia	47
Figura 29. Suelo húmedo poca presencia de vegetación: propia	48
Figura 30. Escarpe secundario. Fuente: propia.....	49
Figura 31. Escarpe principal: propia.....	49
Figura 32. Inclinação de los árboles. Fuente: propia.....	50
Figura 33. Deterioro de la vía. Fuente: propia	51
Figura 34. Caída de rocas. Fuente: propia	51
Figura 35. Características deslizamiento. Fuente: Propia.....	53
Figura 36. Ubicación de los sondeos en la topografía de zona de estudio. Fuente: Propia	54
Figura 37. Equipo SPT usado para la exploración manual. Fuente: Propia	55
Figura 38. Muestra 1-Sondeo N°1. Fuente: Propia.....	57
Figura 39. Muestra 2-Sondeo N°1. Fuente: Propia.....	57
Figura 40. Muestra 3-Sondeo N°1. Fuente: Propia.....	58
Figura 41. Muestra 4-Sondeo N°1. Fuente: Propia.....	58
Figura 42. Muestra 5-Sondeo N°1. Fuente: Propia.....	59
Figura 43. Muestra 6-Sondeo N°1. Fuente: Propia.....	59
Figura 44. Muestra 2-Sondeo 2. Fuente: Propia	61
Figura 45. Muestra 3 – Sondeo2. Fuente: Propia.....	61
Figura 46. Muestra 4 – Sondeo 2. Fuente: Propia.....	62
Figura 47. Muestra 3 – Sondeo N°3. Fuente: Propia	63
Figura 48. Sondeo N°3. Fuente: Propia	64
Figura 49. Sondeo N°3. Fuente: Propia	64
Figura 50. Gráfico % Humedad. Fuente: Propia.....	68
Figura 51. Gráfico limite líquido. Fuente: Propia.....	68
Figura 52. Gráfico Índice de plasticidad. Fuente: Propia	69
Figura 53. Gráfico Gravedad Especifica. Fuente: Propia	69
Figura 54. Gráfico % Arenas. Fuente: Propia.....	70
Figura 55. Gráfico %Finos. Fuente: Propia	71
Figura 56. Gráfico valor qu. Fuente: Propia	71

Figura 57. Análisis SPT número de golpes vs profundidad. Fuente. Propia	74
Figura 58. Parámetros obtenidos Sondeo N°1. Fuente: Propia.....	75
Figura 59. Parámetros obtenidos Sondeo N°2. Fuente: Propia.....	75
Figura 60. Perfil estratigráfico sondeo No 1. Fuente. Propia.....	77
Figura 61. Perfil estratigráfico sondeo No 2. Fuente. Propia.....	77
Figura 62. Perfil estratigráfico sondeo No 3. Fuente. Propia.....	78
Figura 63. Corte realizado en plano topográfico de la ladera. Fuente: Propia.....	78
Figura 64. Corte transversal de la ladera. Fuente: Propia	79
Figura 65. Perfil estratigráfico de la ladera. Fuente: Propia	79
Figura 66. Perfil en Software Slidet. Fuente: Propia	80
Figura 67. Retroanálisis Método de Spencer. Fuente: Propia.....	82
Figura 68. Ubicación escarpe principal y secundario. Fuente: Propia.....	82
Figura 69. Manual de procedimientos para el manejo de procesos denudativos con obras de Bioingeniería. Fuente: CAR.....	84
Figura 70. Trinchos escalonados para el control de la erosión en arcillas. Fuente: CAR	85
Figura 71. Zanja excavada para la colocación de las guaduas. Fuente: CAR	86
Figura 72. Parales de soporte para las guaduas horizontales. Fuente: CAR.....	87
Figura 73. Ensayo de flexión aplicado a la guadua. Fuente: NTC 5525	88
Figura 74. Dovelas generadas en superficie de falla. Fuente: Propia	89
Figura 75. Empuje final obtenido por Slide. Fuente: Propia	91
Figura 76. Tipos de pilotes método de Broms. Fuente: Broms,1964	91
Figura 77. Longitud Característica Pilotes. Fuente: Vesic, 1977	92
Figura 78. Recomendación de Broms. Fuente: Broms. 1964	92
Figura 79. Longitud del pilote para materiales firmes, Fuente: Broms, 1964	93
Figura 80. Longitud excentricidad de la falla. Fuente: Propia.....	93
Figura 81. Datos para ecuación de Vesic. Fuente: Propia	94
Figura 82. Longitud Característica. Fuente: Propia	94
Figura 83. Condición para el análisis de carga lateral. Fuente: Broms, 1964.....	95
Figura 84. Ecuación para hallar aceleración máxima. Fuente: NSR-10.....	97
Figura 85. Coeficiente de amplificación Fa. Fuente: NSR-10.....	99
Figura 86. Ecuación para encontrar Kst. Fuente: NSR-10.....	99
Figura 87. Area de la sección transversal. Fuente: Propia.....	101
Figura 88. Valores del pilote de guadua en Slide. Fuente: Propia.....	102
Figura 89. Pilotes implementados en el software. Fuente: Propia.....	103
Figura 90. Carga sísmica en el modelo. Fuente: Propia	104
Figura 91. Resultado Análisis Seudoestatico en Slide. Fuente: Propia	105
Figura 92. Resultado Análisis Estático en Slide, Fuente: Propia.....	107
Figura 93. Características de la guadua para el proyecto. Fuente: Propia	107
Figura 94. Trinchos ubicados en el perfil topográfico. Fuente: Propia	108
Figura 95. Trinchos ubicados en el perfil topográfico. Fuente: Propia	109
Figura 96. Vista en planta ubicación de trinchos. Fuente: Propia	110
Figura 97. Vista en planta N°2 ubicación de trinchos. Fuente: Propia.....	110
Figura 98. Vista en planta N°3 ubicación de trinchos. Fuente: Propia.....	110

Figura 99. Inicio de filas de trinchos. Fuente: Propia	111
Figura 100. Coordenadas del inicio y fin de filas de trinchos. Fuente: Propia	112

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Métodos de conformación topográfica para equilibrar fuerzas. Fuente: Suarez,2001 ...	30
Tabla 2. Métodos de recubrimiento de la superficie del talud. Fuente: Suarez, 2001	31
Tabla 3. Métodos de control de agua y presión de poros. Fuente: Suarez, 2001	31
Tabla 4. Métodos de estructuras de contención. Fuente: Suarez, 2001	32
Tabla 5. Métodos para mejorar la resistencia del suelo. Fuente: Suarez, 2001	33
Tabla 6. Personal técnico y profesional. Fuente; Propia.....	42
Tabla 7. Equipo utilizado. Fuente: Propia	43
Tabla 8. ubicación de los sondeos realizados. fuente: propia	54
Tabla 9. Registro de campo Sondeo N°1. Fuente: Propia	56
Tabla 10. Registro de perforación Sondeo N°2. Fuente: Propia.....	60
Tabla 11. Registro de perforación Sondeo N°3. Fuente: Propia.....	63
Tabla 12. Cuadro Resumen resultados de Laboratorios. Fuente: Propia	65
Tabla 13. Cuadro Resumen resultados de Laboratorios. Fuente. Propia	66
Tabla 14. Cuadro Resumen resultados de Laboratorios. Fuente. Propia	66
Tabla 15. Cuadro Resumen resultados de Laboratorios. Fuente. Propia	67
Tabla 16. Cuadro análisis SPT. Fuente. Propia	72
Tabla 17. Cuadro de consistencia y compacidad según número de golpes SPT. Fuente: Terzaghi y Peck,1955	73
Tabla 18. Tabla de parámetros después de la variación. Fuente: Propia	81
Tabla 18. Sumatoria de datos de dovelas. Fuente: Propia	90
Tabla 19. Análisis de Carga Lateral. Fuente: Propia	96
Tabla 20. Valor de Aa para el municipio de Chaguaní-Cundinamarca. Fuente: NSR-10	97
Tabla 21. Tabla A.2.4-1, Clasificación de los suelos. Fuente: NSR-10	98
Tabla 22. Valores del coeficiente de importancia. Fuente: NSR-10.....	99
Tabla 23. Valores de Kst/amax Mínimos para el análisis pseudoestatico de Taludes. Fuente: NSR-10.....	100
Tabla 24. Esfuerzo Cortante. Fuente: Propia	102
Tabla 25. Factores de Seguridad Básicos (Condición Seudoestatica) Mínimos Directos. Fuente: NSR-10	104
Tabla 26. Factores de Seguridad Básicos (Condición Estatica) Mínimos Directos. Fuente: NSR-10	106

ANEXOS

<i>Anexo 1. Topografía de la zona vista en planta.....</i>	120
<i>Anexo 2. Mapa topográfico municipio Chaguaní.....</i>	121
<i>Anexo 3. Topografía ladera las Sardinias vista Lateral.....</i>	122
<i>Anexo 4. Puntos de perforación.....</i>	123
<i>Anexo 5. Corte transversal Topografía.....</i>	124
<i>Anexo 8. Descripción del deslizamiento.....</i>	126
<i>Anexo 9. Retro cálculo Método Spencer.....</i>	127
<i>Anexo 10. Perfil con fuerza sísmica.....</i>	128
<i>Anexo 11. Descripción Guadua.....</i>	129
<i>Anexo 12. Perfil de la ladera con trinchos.....</i>	130
<i>Anexo 13. Prediseño de trinchos para la ladera.....</i>	131
<i>Anexo 14. Vista en planta ubicación general de trinchos.....</i>	132
<i>Anexo 15. Vista N°2 en planta ubicación general de trinchos.....</i>	133
<i>Anexo 16. Coordenadas de ubicación de filas de trinchos.....</i>	134

INTRODUCCIÓN

Colombia posee una gran variedad en su topografía, en donde se encuentran terrenos llanos, montañosos y escarpados. Esto se debe a que Colombia cuenta con 3 cordilleras, la occidental, la central y la oriental; Las 5 regiones del país, la Andina, el Caribe, la Amazonia, la Orinoquia y la Pacífica, se encuentran limitadas por estas 3 cordilleras. Estadísticamente la mayor población del país habita en estas 3 cordilleras, debido a que entre estas se encuentra la región Andina la cual posee una extensión de 285.420 km², en la cual actualmente habitan alrededor de 34 millones de habitantes (Ministerio de Ambiente,2019). Por ende, el mayor porcentaje de trazado de vías del país se encuentran establecidas en estas. Debido a las condiciones topográficas, los factores climáticos y la composición de los suelos del país, hace que cuando se presenten épocas de lluvia, los deslizamientos se detonen y generen daños y obstrucciones en las vías, esto se debe a la inestabilidad que presentan los taludes. Este es el caso de la ladera que se encuentra ubicada en el

acceso suroccidental del puente “Las Sardinas” en el municipio de Chaguaní – Cundinamarca, por lo tanto, el presente trabajo plantea un prediseño para garantizar la estabilidad del talud, con el fin de evitar riesgos a la comunidad y daños a la infraestructura de la vía y el puente “Las Sardinas”.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El sector del puente de las sardinas en el municipio de Chaguaní se ve afectado por el nacimiento de aguas subterráneas, aumentando la saturación del suelo, como consecuencia se han presentado grandes movimientos en masa y erosión severa en las laderas. Se ha evidenciado que, por causa de los deslizamientos presentados en la ladera, el puente “Las Sardinas” ha sufrido severos daños como desgaste, fisuración y corrosión. Para poder analizar la estabilidad de esta ladera se hizo un levantamiento topográfico (para determinar la geometría actual de la ladera) y perforaciones con ensayos de campo y tomas de muestras para análisis en laboratorio (para establecer el perfil estratigráfico del subsuelo y las características de los suelos existentes). Con estos resultados se determinó un perfil crítico para su modelación en un programa de estabilidad de taludes llamado Slide V.60 y con base en los resultados de este análisis se propondrán y modelarán las alternativas más convenientes para su estabilización. La alternativa propuesta estará encaminada a estabilizar y mejorar el suelo en la zona donde se está presentando el deslizamiento. De no tomar acción el problema se podría agravar con el tiempo y causar daños graves en la infraestructura del puente y la vía. Además, podría obstruir el cauce y ocasionar el desbordamiento de la quebrada. La alternativa a considerar será el uso de la bioingeniería para la estabilización de taludes, donde se contemplarán técnicas que consisten en implementar zanjas de drenaje, filtros vivos, trinchos, revegetalización y otros, para garantizar la estabilidad del terreno. Se decidió priorizar el uso de las técnicas de la bioingeniería, ya que son obras de bajo costo, efectivas a muy corto plazo y

además evitan nuevos eventos o la expansión del área afectada. Implementar estas técnicas evita la sobrecarga de la zona por el agua y fortalece el componente forestal, que con el tiempo será el que actúe como estabilizador del área afectada. Luego de analizada la problemática es válido plantear la siguiente pregunta problemática ¿La construcción de una obra de bioingeniería garantiza la estabilización de la ladera adyacente al puente sobre la quebrada Sardinas?

JUSTIFICACIÓN

El estudio de la estabilidad de taludes en Colombia toma gran importancia porque a diferencia de otros países del mundo Colombia se encuentra ubicado en una región tropical, como los suelos de Colombia son de origen tropical hace más complejo su estudio, debido a que estos suelos presentan características geotécnicas que son diferentes a los suelos de las regiones templadas y por esto deben ser estudiadas más a fondo (Escobar, L. Valencia, Y, 2012). La gran variedad de suelos, topografía y climas que encontramos en el país, hacen necesario el estudio de la amenaza ante problemas de estabilidad de taludes y de remoción en masa en Colombia. La naturaleza de cada caso depende de variables como topografía, geología, geomorfología e hidrología entre otras. Debido a las características particulares de la zona de estudios se están presentando constantes deslizamientos en el sector del puente de la quebrada las sardinas, el talud debe ser estabilizado ya que existe la posibilidad de ocasionar graves daños en la infraestructura del puente, siendo necesario actuar de manera inmediata para mitigar los riesgos y buscar la rápida estabilización del área afectada. Es importante realizar este proyecto debido a que el puente es el único y principal acceso al municipio, en caso tal de que la vía se viera afectada y tuviera que ser cerrada parcialmente, dejaría incomunicado al municipio de Chaguaní con la capital del país. Además de esto, afectaría a más de los 3000 habitantes del municipio, que reciben diariamente suministros y

productos de la capital. Por otro lado, Bogotá dejaría de recibir un gran producto como lo es la panela, ya que Chaguaní es por tradición una de las más grandes regiones paneleras del país.

De acuerdo con lo anterior y con el objetivo de evitar una incomunicación entre el municipio y la capital, se deben analizar a profundidad las propiedades físicas y mecánicas del suelo para poder determinar el perfil estratigráfico y así poder plantear las posibles soluciones para asegurar la estabilidad de la ladera. Es por todo esto que con este proyecto se pretende generar un pre – diseño del sistema de estabilización para la ladera adyacente a la quebrada Sardinas localizada en la vía Chaguaní – Vianí del municipio de Chaguaní Cundinamarca, mejorando la seguridad para los habitantes, viajeros y las actividades de comercio del municipio.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Prediseñar una obra de estabilización aplicando técnicas de bioingeniería en el acceso suroccidental al Puente Las Sardinas de la vía Chaguaní-Vianí

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar los factores condicionantes y detonantes de la inestabilidad de la ladera adyacente al puente sobre la quebrada Sardinas
- Realizar un levantamiento topográfico para determinar la geometría actual de la ladera.
- Establecer el perfil estratigráfico con base en estudios de campo, perforaciones y ensayos de laboratorio.

- Seleccionar un sistema de estabilización que involucre técnicas de bioingeniería que garantice la estabilización del talud y que sea viable desde el punto de vista técnico, constructivo y económico.

MARCO REFERENCIAL

MARCO CONCEPTUAL

Estabilidad de taludes: La estabilidad se entiende como la seguridad de una masa de tierra contra la falla o movimiento. “Como primera medida es necesario definir criterios de estabilidad de taludes, entendiéndose por tales algo tan simple como el poder decir en un instante dado cuál será la inclinación apropiada en un corte o en un terraplén; casi siempre la más apropiada será la más escarpada que se sostenga el tiempo necesario sin caerse”. (Álvaro F. De Matteis, 2003)

Talud: Se conoce como talud a cualquier superficie inclinada con respecto a la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de la tierra. (Álvaro F. De Matteis, 2003)

Ladera: Cuando el talud se produce de forma natural, sin intervención de la mano humana, se denomina ladera natural o simplemente ladera. (Álvaro F. De Matteis, 2003)

Deslizamiento del suelo: Se denomina deslizamiento a la rotura y al desplazamiento del suelo situado debajo de un talud, que origina un movimiento hacia abajo y hacia afuera de toda la masa que participa del mismo. (Álvaro F. De Matteis, 2003)

Presión de poros: La presión de poros consiste en la presión en el agua dentro de los poros del suelo y se identifica con la letra “ μ ”. (Ingeotec, 2018)

Saturación: Se refiere al contenido de agua del suelo cuando prácticamente todos los espacios están llenos de agua. “En los suelos bien drenados es un estado temporal ya que el exceso de agua drena de los poros grandes por influencia de la gravedad para ser reemplazada por aire.”. (Shaxson, T, F., 2001)

Factor de seguridad: Es un coeficiente resultado de la operación entre las fuerzas actuantes y las resistentes, el cual nace de la necesidad tanto de aportar seguridad a las obras como su nombre lo indica, como de optimizarlas. (González, 1999)

Ensayo estándar de penetración dinámica (SPT): El SPT (Standar Penetration Test), consiste en la hincas de un aparato cilíndrico “tomamuestras”. El ensayo proporciona fundamentalmente, el número de golpes, N, necesario para poder hincar en determinadas cotas de profundidad, un tubo con el tomamuestras que se encuentra acoplado en la punta. (Matilde González, 2001)

Perfil estratigráfico: El perfil estratigráfico indica una sección vertical a través del terreno, que muestra los espesores y el orden de sucesión de los estratos. (UNAM, 2018)

MARCO TEORICO

Con el objetivo de aclarar algunos términos, se realiza una pequeña contextualización con el fin de tener un mejor panorama del proyecto. Para empezar, se entiende como deslizamiento a el “Movimiento de roca, detritos o suelo, pendiente abajo por la acción de la gravedad, cuando el esfuerzo cortante excede el esfuerzo de resistencia del material (CERP,2012), el cual se presenta en una ladera o talud, generalmente estos movimientos o deslizamientos ocurren a lo largo de las superficies de falla, por caída libre, movimientos en masa, erosión o flujos.

Partes de un deslizamiento

Como se observa en la Figura 1, se presentan las diferentes partes que componen a un deslizamiento, las cuales según (Suarez,2001) se definen de la siguiente manera:

- **Cabeza:** Parte superior de la masa de material que se mueve. La cabeza del deslizamiento no corresponde necesariamente a la cabeza del talud. Arriba de la cabeza está la corona
- **Cima:** El punto más alto de la cabeza, en el contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
- **Corona:** El material que se encuentra en el sitio, casi inalterado, adyacente a la parte más alta del escarpe principal, por encima de la cabeza.
- **Escarpe Principal:** Superficie muy inclinada a lo largo de la periferia posterior del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material conforma la superficie de falla.
- **Escarpe Secundario:** Superficie muy inclinada producida por el desplazamiento diferencial dentro de la masa que se mueve. Cabe resaltar que en un deslizamiento pueden presentarse varios escarpes secundarios.
- **Superficie de falla:** Área por debajo del movimiento y que delimita el volumen de material desplazado.
- **Pie de la superficie de falla:** Línea de intercepción entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.
- **Base:** El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.
- **Punta:** El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.
- **Cuerpo principal del deslizamiento:** Corresponde al material desplazado que se encuentra por encima de la superficie de falla.

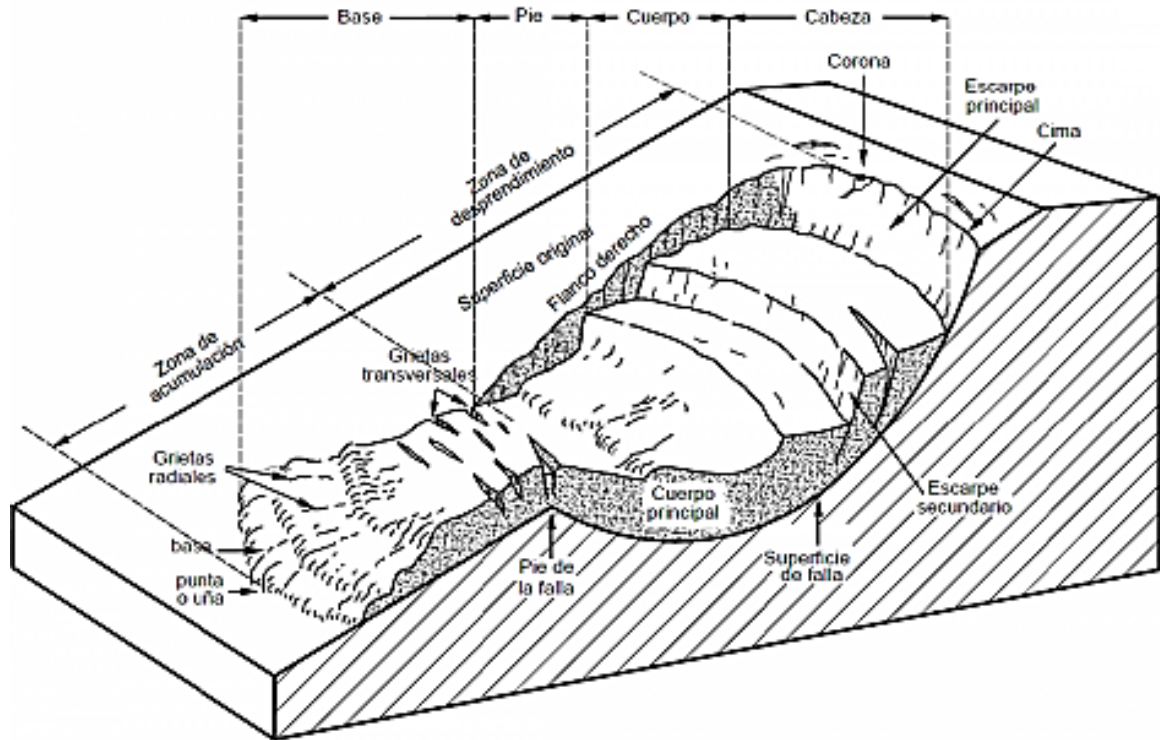


Figura 1. Partes de un deslizamiento. Fuente: Suarez,2001

Después de comprender las partes que componen a un deslizamiento, es necesario entender de qué manera se realiza la medición de un deslizamiento. Para ello encontramos las definiciones de la literatura “*Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*” del Ingeniero Jaime Suarez, el cual nos presenta lo siguiente:

Medición de un deslizamiento

La medición de un deslizamiento se encuentra determinada por los siguientes factores, los cuales se representan en la Figura 2.

- **Ancho de la masa desplazada W_d :** Ancho máximo de la masa desplazada perpendicular a la longitud L_d .
- **Ancho de la superficie de falla W_r :** Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicular a la longitud L_r .

- **Longitud de la masa desplazada L_d :** Distancia mínima entre la punta y la cabeza.
- **Longitud de la superficie de falla L_r :** Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.
- **Profundidad de la masa desplazada D_d :** Máxima profundidad de la masa movida perpendicular al plano conformado por W_d y L_d
- **Profundidad de la superficie de falla D_r :** Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por W_r y L_r
- **Longitud total L :** Distancia mínima desde la punta a la corna del deslizamiento.
- **Factor de expansión F_{ex} :** Factor de expansión el cual posee valores entre 1.25 a 1.30.

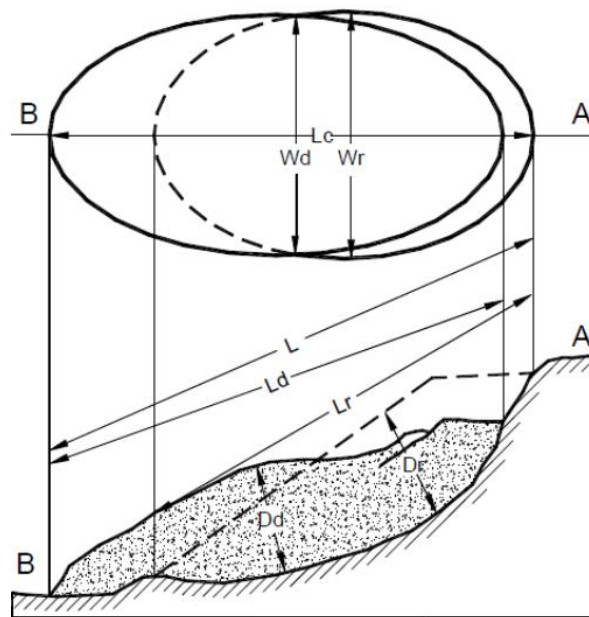


Figura 2. Medición de un deslizamiento. Fuente: Suarez, 2001

Volumen del deslizamiento

El volumen del deslizamiento se mide en metros cúbicos después de la falla. El volumen aproximado de un desplazamiento de rotación puede calcularse utilizando la siguiente ecuación

$$Vol_{des} = \left(\frac{1}{6} \pi D_r \cdot x W_r \cdot x L_r \right) F_{ex}$$

Figura 3. Ecuación para el cálculo del volumen del desplazamiento. Fuente: Suarez,2001

Ángulo de desplazamiento

El ángulo de desplazamiento α determina el volumen de material de un flujo y su velocidad. A menor α , el volumen total puede ser mayor, pero la velocidad del movimiento puede ser menor. Sin embargo, a velocidad también depende de la pendiente de la zona de desprendimiento y la longitud del recorrido.

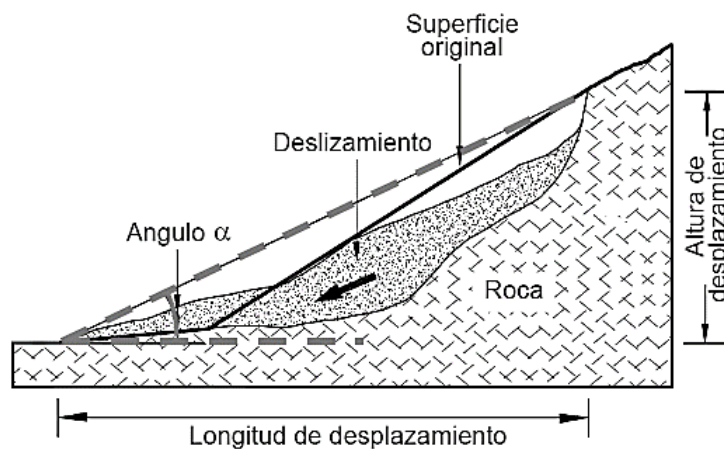


Figura 4. Ángulo de desplazamiento. Fuente: Suarez, 2001

Tipos de deslizamiento

- **Caído:** El tipo de deslizamiento caído corresponde a un desprendimiento de masa de cualquier tamaño desde un talud de pendiente fuerte a lo largo de una superficie en la cual el desplazamiento de corte es mínimo o no se da. Los caídos de roca son bloques de roca

relativamente sana; Los caídos de residuos o detritos, están compuestos por fragmentos de materiales pétreos. En los caídos pueden incluir desde suelo y partículas relativamente pequeñas, hasta bloques de varios metros cúbicos.

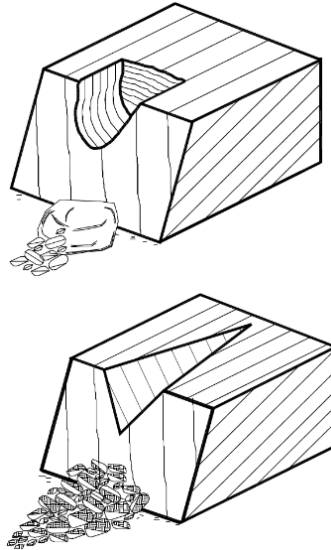


Figura 5. Tipo de deslizamiento Caído. Fuente: Suarez, 2001

- **Acumulación de Caídos- “Talus”:** La acumulación del material caído sobre el pie del talud se le denomina “Escombros” o “Talus” y generalmente, se depositan formando “Conos”. La pendiente del talus depende del ángulo de fricción del material. Los talus de bloques de roca casi siempre son de pendientes altas.

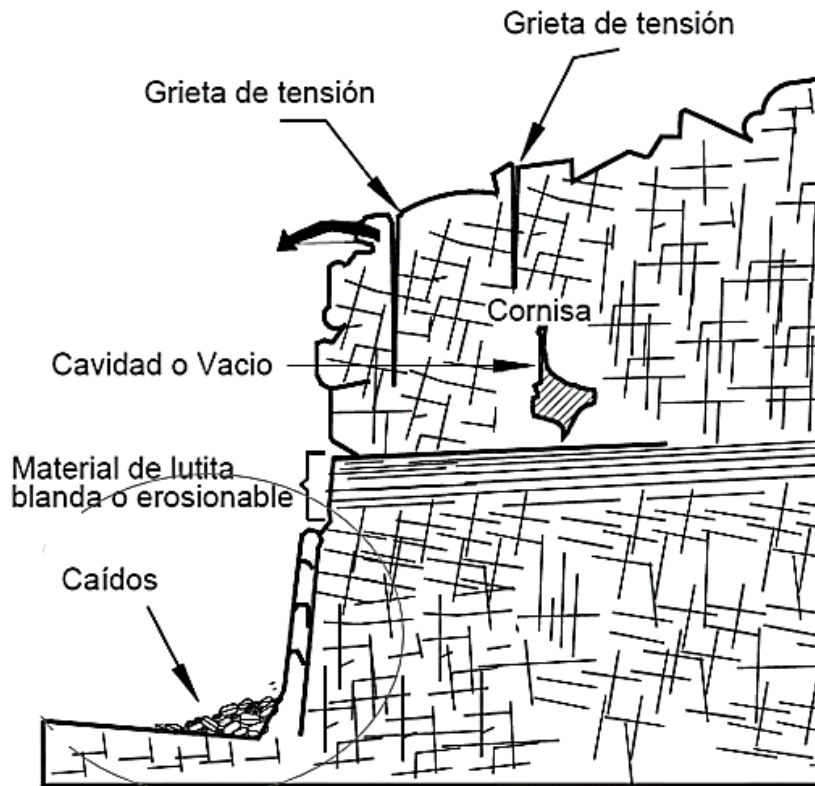


Figura 6. Acumulación de caídos. Fuente: Suarez, 2001

- **Volcamiento:** Este tipo de movimiento consiste en una rotación hacia delante de una unidad o unidades de material térreo con centro de giro por debajo del centro de gravedad de la unidad. Generalmente, los volcamientos ocurren en las formaciones rocosas, pero también, se presentan en suelos cohesivos secos y en suelos residuales

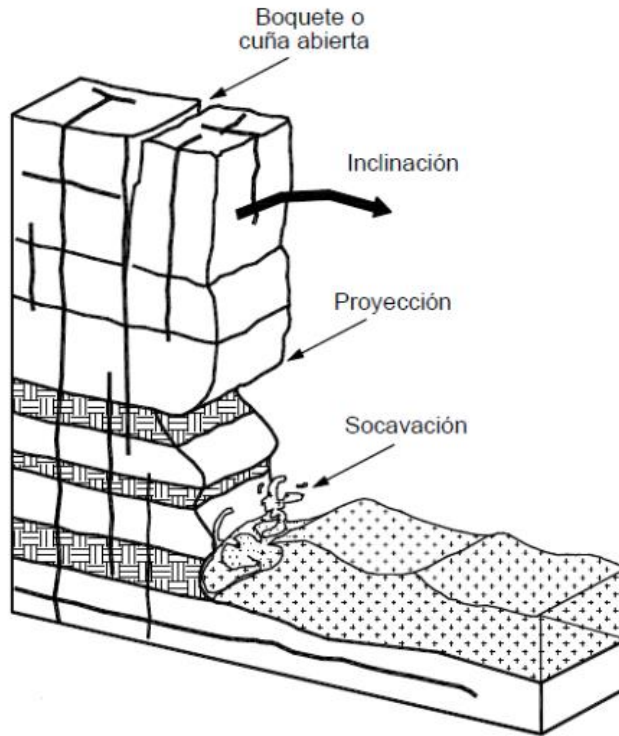


Figura 7. Volcamiento. Fuente: Suarez,2001

- **Reptación:** Consiste en movimientos del suelo subsuperficial desde muy lentos a extremadamente lentos sin una superficie definida de falla. La profundidad del movimiento puede ser desde pocos centímetros hasta varios metros. Generalmente, el desplazamiento horizontal es de unos pocos centímetros al año y afecta a grandes áreas de terreno.

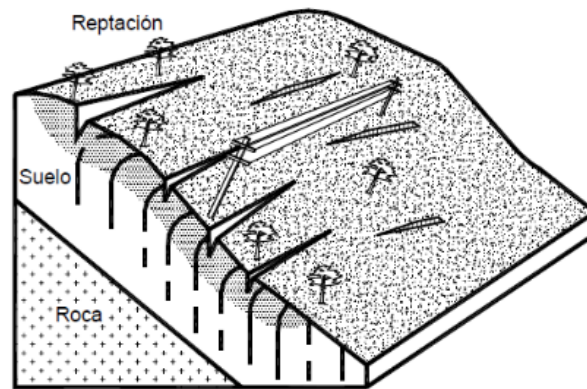


Figura 8. Reptación. Fuente: Suarez,2001

- **Deslizamiento Rotacional:** En un deslizamiento rotacional la superficie de falla es cóncava hacia arriba y el movimiento es rotacional con respecto al eje paralelo a la superficie y transversal al deslizamiento.

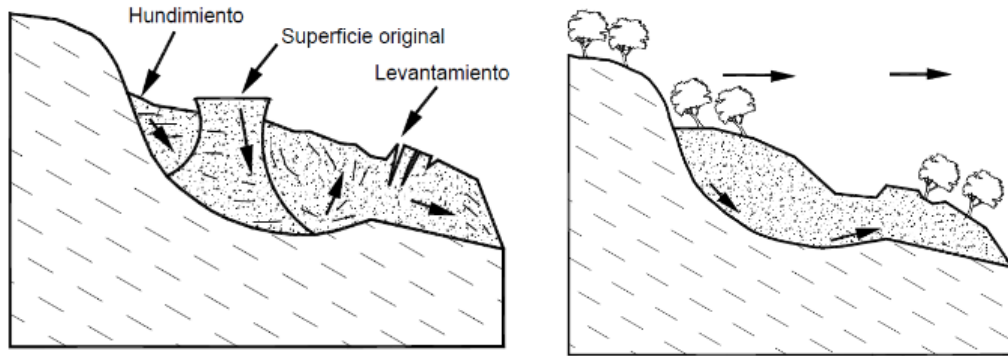


Figura 9. Deslizamiento rotacional. Fuente: Suarez, 2001

- **Deslizamiento de traslación:** En el deslizamiento de traslación la masa se desliza hacia afuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo.

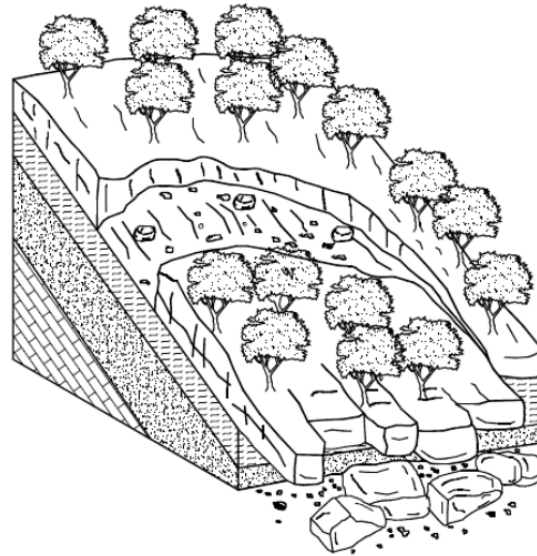


Figura 10. Deslizamiento de traslación. Fuente: Suarez, 2001

Clasificación de Deslizamientos

Para la clasificación de los deslizamientos, varios factores se han tenido en cuenta como el material, los atributos geométricos, la geometría del deslizamiento, tipo de movimiento, clima, humedad, velocidad de movimiento y el detonante. Al pasar de los años, varios autores han presentado su teoría frente a la respectiva clasificación. De los cuales consideramos como los más completos o importante a Cruden & Varnes (1996) y Hutchinson (1998).

Cruden & Varnes (1996)

Los criterios utilizados en la clasificación de los deslizamientos propuestos en la literatura de Cruden & Varnes, siguen la anterior clasificación realizada por Varnes en el año de 1978, en donde continúan haciendo insistencia en los factores de tipo de movimiento y tipo de material. Esta clasificación logra que cualquier deslizamiento pueda ser clasificado y descrito mediante dos palabras, así como se muestra en la Figura 11; En donde la primera palabra describe el material y la segunda describe el tipo de movimiento.

TIPO DE MOVIMIENTO	TIPO DE MATERIAL		
	ROCA	SUELO	
		GRANULAR	FINO
CAÍDAS	Caída de roca	Caídas de detritos	Caídas de suelos
VOLCAMIENTOS	Volcamiento de roca	Volcamiento de detritos	Volcamiento de suelos
DESLIZAMIENTOS (ROTACIONAL y TRASLACIONAL)	Deslizamiento de roca	Deslizamiento de detritos	Deslizamiento de suelos
PROPAGACIÓN LATERAL	Propagación de roca	Propagación de detritos	Propagación de suelos
FLUJO	Flujo de roca	Flujo de detritos	Flujo de Tierra

Figura 11. Clasificación de deslizamientos Cruden & Varnes. Fuente: Cruden & Varnes, 1996

Como sugerencia los autores complementan la clasificación con la actividad del deslizamiento (Figura 15), la cual tiene en cuenta factores como el estado, la distribución y el estilo y con la descripción del primer y segundo movimiento (Figura 16)

Estado de actividad

Para entender mejor el estado de la actividad el autor Rodriguez,2012 presenta la ilustración de está (Figura 12)

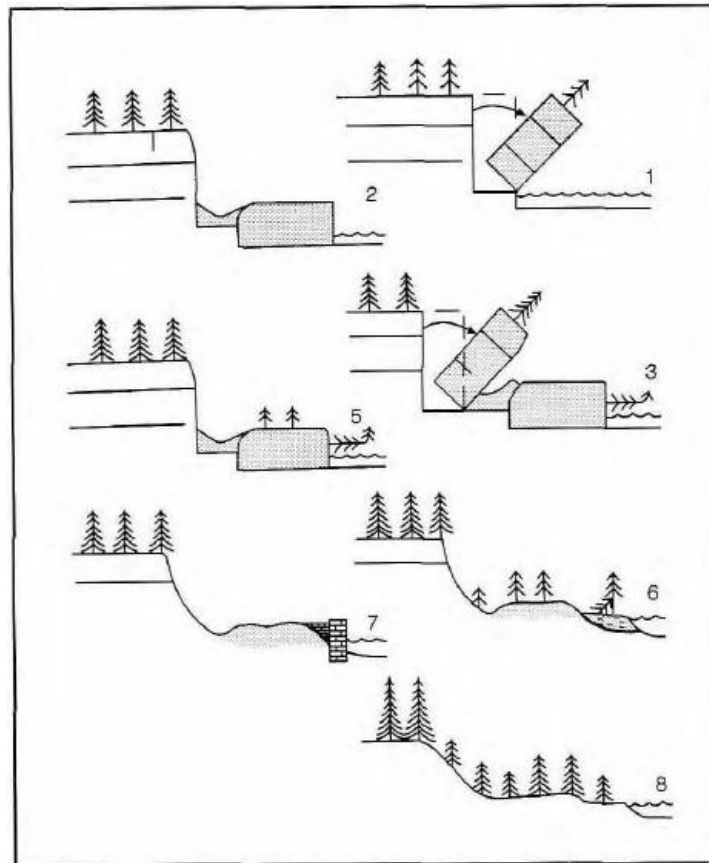


Figura 12. Estado de la Actividad. Fuente: WP/WLI, (1993)

Distribución de la actividad

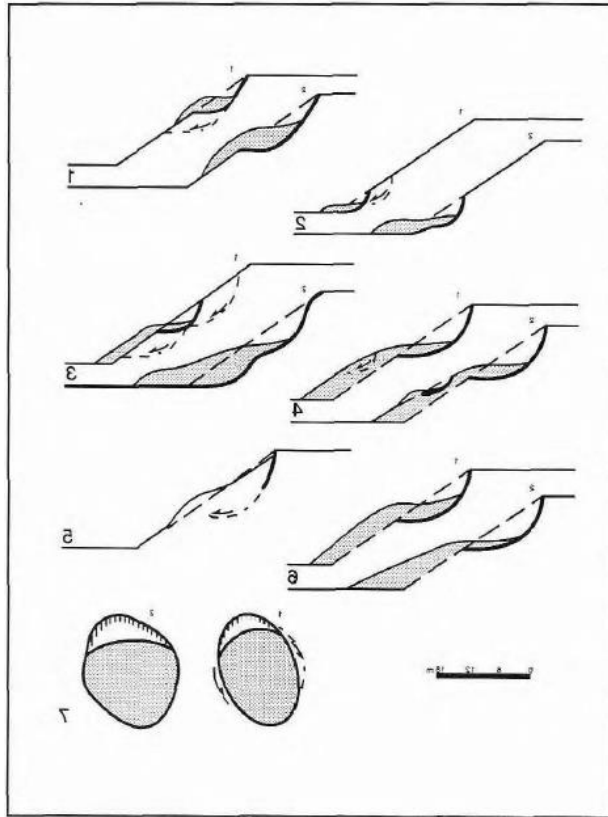


Figura 13. Distribución de la actividad. Fuente: WP/WLI, (1993)

Estilos de Actividad

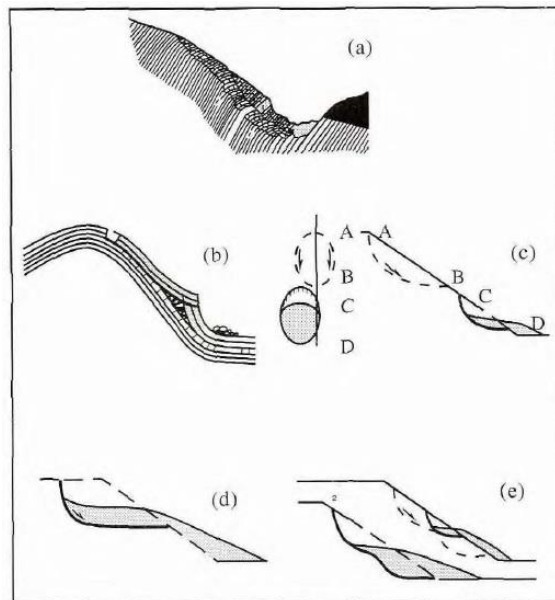


Figura 14. Estilos de Actividad. Fuente: WP/WLI, (1993)

ACTIVIDAD		
ESTADO	DISTRIBUCIÓN	ESTILO
Activo	Avanzado	Complejo
Reactivado	Regresivo	Compuesto
Suspendido	Ensanchamiento	Múltiple
Inactivo	Confinado	Sucesivo
Dormido	Decreciente	En solitario
Abandonado	En Movimiento	
Estabilizado		
Relicto		

Figura 15. Actividad del deslizamiento. Fuente: Cruden & Varnes, 1996

Descripción del primer movimiento y del segundo movimiento

DESCRIPCIÓN DEL PRIMER MOVIMIENTO			
VELOCIDAD	CONTENIDO DE AGUA	MATERIAL	TIPO
Extremadamente rápido	Seco	Roca	Caída
Muy rápido	Húmedo	Suelos	Volcamiento
Rápido	Saturado	Granulares	Deslizamiento
Moderado	Muy saturado	Finos	Propagación
Lento			Flujo
Muy lento			
Extremadamente lento			
DESCRIPCIÓN DEL SEGUNDO MOVIMIENTO			
VELOCIDAD	CONTENIDO DE AGUA	MATERIAL	TIPO
Extremadamente rápido	Seco	Roca	Caída
Muy rápido	Húmedo	Suelos	Volcamiento
Rápido	Saturado	Granulares	Deslizamiento
Moderado	Muy saturado	Finos	Propagación
Lento			Flujo
Muy lento			
Extremadamente lento			

Figura 16. Descripción primer y segundo movimiento. Fuente: Cruden & Varnes, 1996

Hutchinson (1988)

Hutchinson propuso una clasificación de los deslizamientos que se enfoca principalmente en la morfología de los movimientos de la ladera, el mecanismo, el material y la velocidad del movimiento. La siguiente propuesta se clasifica de la siguiente manera:

A. Rebote

Movimientos asociados con:

1. Excavaciones por humanos
2. Valles Naturales erosionados

B. Creep

1. Creep superficial, predominante estacional; Creep en capas:
 - a. Creep de suelo, Creep de talus
 - b. Creep por heladas y solifluxión o detritos granulares en climas con fluctuaciones de congelación y descongelación
2. Asentamientos profundos, Creep continuo; Creep de masas
3. Creep Prefalla; Creep progresivo
4. Creep Post-Falla

C. Pandeo o combamientos (sagging) de taludes en las montañas

1. Sagging en un solo lado asociado con las etapas iniciales de los deslizamientos
 - a. Tipo rotacional
 - b. Tipo Compuesto
2. Pandeo en doble cara, asociada con las etapas iniciales de dobles deslizamientos que conducen a la expansión de la cresta
 - a. Tipo Rotacional

- b. Tipo Compuesto
 - 3. Sagging asociado con múltiples volcamientos
- D. Deslizamientos
 - 1. Fallas Confinadas
 - a. En Taludes naturales
 - b. En Taludes hechos por el hombre
 - 2. Deslizamientos rotacionales
 - a. Rotación simple
 - b. Rotación sucesiva
 - c. Rotación múltiple
 - 3. Deslizamientos compuestos
 - 4. Deslizamiento traslacional
- E. Movimientos de detritos con forma de flujo
 - 1. Flujo de lodo
 - 2. Flujos de lodo peri glaciales
 - 3. Deslizamientos en flujo
 - 4. Flujo en detritos, de muy extremadamente rápidos, flujo de detritos húmedos
 - 5. Sturzstroms, flujos muy rápidos de detritos secos
- F. Volcamientos
 - 1. Volcamientos limitados por discontinuidades preexistentes
 - 2. Volcamiento debido a liberación de esfuerzos en materiales previamente intactos
- G. Caídas
 - 1. Primaria, de roca y suelos, involucran la separación de material fresco de la masa matriz

2. Secundaria, caída de piedras y cantos rodados.

H. Movimientos Complejos

1. Combadura y abultamiento de valles
2. Movimientos de taludes tipo bloque
3. Acantilados de arcilla abandonados
4. Avalanchas de lodo o flujo en la punta
5. Deslizamientos causados por erosión producida por infiltración
6. Múltiples deslizamientos en forma escalonada
7. Múltiples deslizamientos en plantas

Estabilización de laderas

Después de realizar una amplia contextualización frente a los deslizamientos, tipos y caracterización, es necesario conocer métodos para lograr una estabilización del talud o de a ladera. El Ingeniero Jaime Suarez Diaz en su libro *“Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales”* presenta varios métodos de estabilización. La estabilización de un talud comprende varios factores como:

1. Determinar el sistema o combinación de sistemas de estabilización más apropiados, teniendo en cuenta todas las circunstancias del talud estudiado.
2. Diseñar en detalle el sistema a emplear, incluyendo planos y especificaciones de diseño.
3. Instrumentación y control durante y después de la estabilización.

Categorías principales de sistemas de estabilización

1. Conformación de talud

Este sistema tiende a lograr un equilibrio de masas, reduciendo las fuerzas que producen movimiento

Método	Ventajas	Desventajas
Remoción de materiales de la cabeza del talud.	Muy efectivo en la estabilización de deslizamientos rotacionales.	En movimientos muy grandes las masas a remover tendrían una gran magnitud.
Abatimiento de la pendiente .	Efectivo especialmente en suelos friccionantes.	No es viable económicamente en taludes de gran altura.
Terraceo de la superficie.	Además de la estabilidad al deslizamiento, permite construir obras para controlar la erosión.	Cada terraza debe ser estable independientemente.

Tabla 1. Métodos de conformación topográfica para equilibrar fuerzas. Fuente: Suarez,2001

2. Recubrimiento de la superficie

Método que tratan de impedir la infiltración o la ocurrencia de fenómenos superficiales de erosión, o refuerzan el suelo más subsuperficial. El recubrimiento puede consistir en elementos impermeabilizantes como el concreto o elementos que logren reforzar la estructura superficial del suelo como la cobertura vegetal.

Método	Ventajas	Desventajas
Recubrimiento de la superficie del talud.	El recubrimiento ayuda a controlar la erosión.	Se debe garantizar la estabilidad del recubrimiento.
Conformación de la superficie.	Puede mejorar las condiciones del drenaje superficial y facilitar el control de erosión.	Su efecto directo sobre la estabilidad es generalmente, limitado.
Sellado de grietas superficiales.	Disminuye la infiltración de agua.	Las grietas pueden abrirse nuevamente y se requiere mantenimiento por periodos importantes de tiempo.
Sellado de juntas y discontinuidades.	Disminuye la infiltración de agua y presiones de poro en las discontinuidades	Puede existir una gran cantidad de discontinuidades que se requiere sellar .
Cobertura vegetal. Arboles Arbustos y Pastos	Representan una alternativa ambientalmente excelente . (Ver capítulo 8)	Pueden requerir mantenimiento para su establecimiento.

Tabla 2. Métodos de recubrimiento de la superficie del talud. Fuente: Suarez, 2001

3. Control de agua superficial y subterránea

Sistemas cuyo objetivo es controlar el agua y sus efectos, disminuyendo las fuerzas que producen movimiento y/o aumentando las fuerzas resistentes.

Método	Ventajas	Desventajas
Canales superficiales para control de escorrentía.	Se recomienda construirlos como obra complementaria en la mayoría de los casos. Generalmente, las zanjas se construyen arriba de la corona del talud.	Se deben construir estructuras para la entrega de las aguas y disipación de energía.
Subdrenes de zanja.	Muy efectivos para estabilizar deslizamientos poco profundos en suelos saturados subsuperficialmente.	Poco efectivos para estabilizar deslizamientos profundos o deslizamientos con nivel freático profundo.
Subdrenes horizontales de penetración.	Muy efectivos para interceptar y controlar aguas subterráneas relativamente profundas.	Se requieren equipos especiales de perforación y su costo puede ser alto.
Galerías o túneles de subdrenaje.	Efectivos para estabilizar deslizamientos profundos en formaciones con permeabilidad significativa y aguas subterráneas.	Muy costosos.
Pozos profundos de subdrenaje.	Útiles en deslizamientos profundos con aguas subterráneas. Efectivos para excavaciones no permanentes.	Su uso es limitado debido a la necesidad de operación y mantenimiento permanente.

Tabla 3. Métodos de control de agua y presión de poros. Fuente: Suarez, 2001

4. Estructuras de contención

Métodos en los cuales se van a colocar fuerzas externas al movimiento aumentando las fuerzas resistentes, sin disminuir las actuantes. Las estructuras de contención son obras generalmente masivas, en las cuales el peso de la estructura es un factor importante y es común colocar estructuras ancladas en las cuales la fuerza se transmite al deslizamiento por medio de un cable o varilla de acero. Cada tipo de estructura tiene un sistema diferente de trabajo y se deben diseñar de acuerdo con su comportamiento particular.

Método	Ventajas	Desventajas
Relleno o berma de roca o suelo en la base del deslizamiento.	Efectivos en deslizamientos no muy grandes especialmente en los rotacionales actuando como contrapeso.	Se requiere una cimentación competente para colocar el relleno.
Muros de contención convencionales , de tierra armada etc.	Útiles para estabilizar masas relativamente pequeñas.	Se requiere una buena calidad de cimentación. Son poco efectivos en taludes de gran altura.
Pilotes	Son efectivos en movimientos poco profundos, en los cuales existe suelo debajo de la superficie de falla que sea competente para permitir el hincado y soporte de los pilotes .	No son efectivos en deslizamientos profundos o cuando aparece roca o suelo muy duro debajo de la superficie de falla. Poco efectivos en deslizamientos rotacionales.
Anclajes o pernos	Efectivos en roca, especialmente cuando es estratificada.	Se requieren equipos especiales y son usualmente costosos.
Pantallas ancladas	Útiles como estructuras de contención de masas de tamaño pequeño a mediano.	Existen algunas incertidumbres sobre su efectividad en algunos casos, especialmente, cuando hay aguas subterráneas y son generalmente costosas.

Tabla 4. Métodos de estructuras de contención. Fuente: Suarez, 2001

5. Mejoramiento del suelo

El objetivo de estos métodos es mejorar la resistencia del suelo. Incluyen procesos físicos y químicos que aumentan la cohesión y/o la fricción de la mezcla suelo-producto estabilizante o del suelo modificado.

Método	Ventajas	Desventajas
Inyecciones o uso de químicos.	Endurecen el suelo y pueden cementar la superficie de falla.	La disminución de permeabilidad puede ser un efecto negativo.
Magmificación	Convierte el suelo en roca utilizando rayos especiales desarrollados por la industria espacial.	Su utilización en la actualidad es solamente para uso experimental.
Congelación.	Endurece el suelo al congelarlo.	Efectos no permanentes.
Electro-osmosis.	Reducen el contenido de agua .	Utilización para estabilización no permanente.
Explosivos.	Fragmenta la superficie de falla.	Su efecto es limitado y puede tener efectos negativos.

Tabla 5. Métodos para mejorar la resistencia del suelo. Fuente: Suarez, 2001

Bioingeniería para la estabilización de laderas

El resultado de la vegetación sobre la estabilidad de los taludes ha sido muy debatido en los últimos años; Sin embargo, la experiencia ha demostrado el efecto positivo de la vegetación, para evitar problemas de erosión, reptación y fallas subsuperficiales. Para poder analizar los fenómenos del efecto de la vegetación sobre el suelo se requiere investigar las características específicas de la vegetación, en el ambiente natural que se esté estudiando. Entre los factores importantes se sugiere analizar los siguientes: Volumen y densidad de follaje, tamaño, ángulo de inclinación y aspereza de las hojas, altura total de la cobertura vegetal, presencia de varias capas diferentes de cobertura vegetal, tipo, forma, profundidad, diámetro, densidad, cubrimiento y resistencia del sistema de raíces.

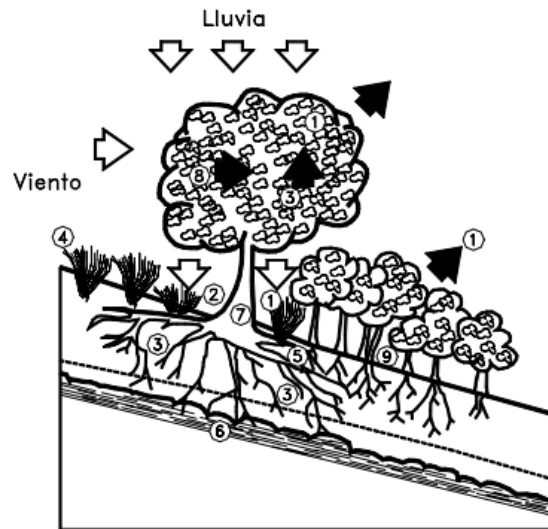


Figura 17. Efectos de la vegetación sobre la estabilidad de una ladera. Fuente: Rivera, 2012

Como se observa en la Figura 17, encontramos enumerados varios factores positivos que presentan la vegetación sobre la estabilidad de una ladera, los cuales son:

1. Intercepta la lluvia.
2. Aumenta la capacidad de infiltración.
3. Extrae la humedad del suelo.
4. Grietas por desecación.
5. Raíces refuerzan el suelo, aumentando resistencia al cortante.
6. Anclan el suelo superficial a mantos más profundos.
7. Aumentan el peso sobre el talud.
8. Transmiten al suelo fuerza del viento.
9. Retienen las partículas del suelo disminuyendo susceptibilidad a la erosión.

METODOLOGIA

El proyecto por desarrollar cuenta con una investigación tipo mixta, el diseño metodológico de la investigación contará con 5 fases preliminares:

- Recopilación de información tal como geología, hidrogeología, topografía de la zona de estudio, que permita tener un primer panorama de la zona
- Se realiza una inspección de la ladera, comenzando con un levantamiento topográfico de la zona. Después de ello, se procede al estudio de la ladera con base en perforaciones los ensayos de laboratorio
- Posteriormente se realiza un análisis para establecer el perfil estratigráfico de la zona e identificar las características de los materiales
- A partir de esta información se determina el perfil crítico para su modelación en software especializado y con base en los resultados de este análisis se propone la alternativa más conveniente para su estabilización.
- Prediseño, ubicación y caracterización de la obra de bioingeniería seleccionada

CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

LOCALIZACIÓN

El área de estudio que será evaluada en el presente proyecto se encuentra ubicada en el Municipio de Chaguani, en el Departamento de Cundinamarca. Específicamente en el puente “Las Sardinas”, que se encuentra ubicado a aproximadamente 1.50 km del Municipio y a 112 km de la capital del país. Dicho sector se puede referenciar con las coordenadas N: 2103445.548, E: 4823375.464

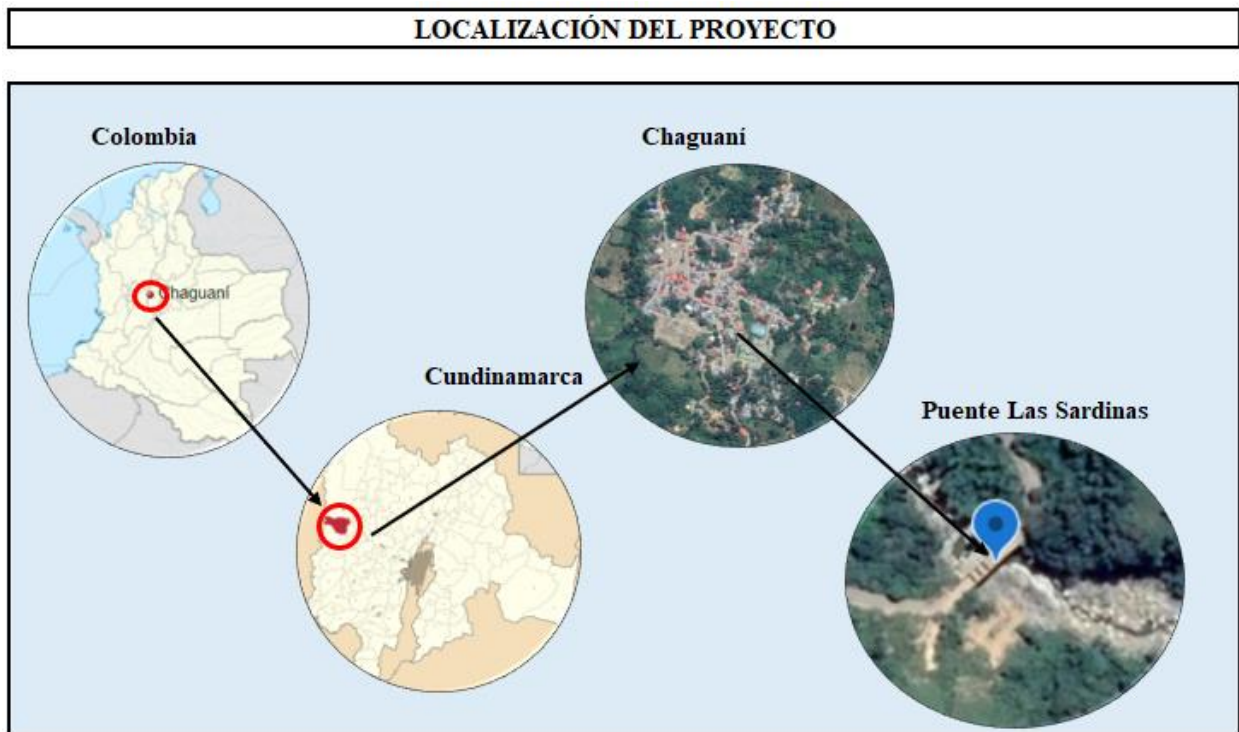


Figura 18. Localización General del Proyecto. Fuente: Propia

TOPOGRAFIA

TOPOGRAFIA GENERAL DE CHAGUANÍ

Chaguaní localizado con coordenadas $4^{\circ}56'55''N$ $74^{\circ}35'37''O$, posee una topografía ondulada, como se observa en el anexo 3 “Mapa topográfico Chaguaní”, su altitud media ronda entre los 950 m.s.n.m y los 964 m.s.n.m. Además de esto, la altitud mínima por el lado oeste se encuentra alrededor de los 203 m.s.s.m y su altitud máxima que se encuentra cerca de las montañas está en los 2356 m.s.n.m.

TOPOGRAFIA DE LA ZONA DEL PROYECTO

EL levantamiento topográfico de detalle del sitio de intervención del proyecto fue realizado por el topógrafo Juan David Guzmán Rubiano. Como se puede observar en el Anexo 1 “Topografía de la zona vista en planta”, las curvas de nivel se generaron con una precisión que abarca cada 0.25 m. Ya establecido el trabajo en campo y con los resultados obtenidos se puede observar la inestabilidad que está presentando el talud, la diferencia de contas entre la vía y la cima del talud que es de 22 m, en la parte superior del plano topográfico se puede observar una cuneta realizada por el dueño del predio para canalizar el agua. Además, también detalla la geoforma de los flancos y el deterioro de la vía por los previos deslizamientos que han cambiado su forma causando hundimientos.

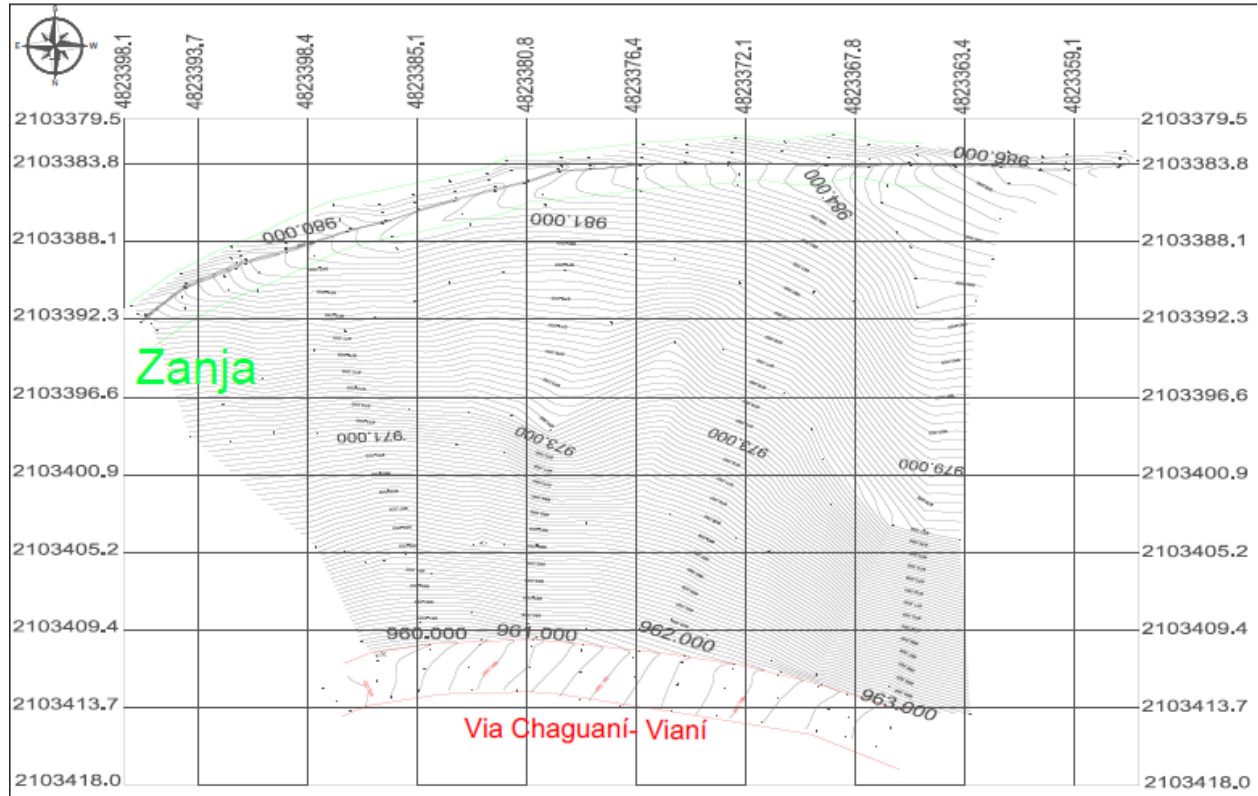


Figura 19. Topografía de la zona vista en planta. Fuente: Propia

El levantamiento topográfico se planeó en varias actividades, inicialmente se ubicó el predio a partir de la información suministrada en la página de datos abiertos del IGAC y se procedió a estimar el tiempo de rastreo, a partir de las distancias entre el proyecto y las estaciones permanentes MAGNA ECO. Luego de consultar las distancias entre el proyecto y las estaciones de red activa, se procede a calcular el tiempo de rastreo según lo indicado en la resolución 643 de 2018 del IGAC. La captura de datos se realizó por medio de unas placas metálicas que eran correspondientes a los GPS, Una vez materializados los puntos topográficos bases denominados GPS1 y GPS2, se realizó el posicionamiento GPS utilizando equipos GNSS bajo la metodología estático diferencial.



Figura 20. Posicionamiento de puntos topográfico base. Fuente: Propia

Dada las condiciones de que el predio no es de abundante vegetación, y topografía montañosa, se optó por realizar el levantamiento mediante el Sistema de RTK. El levantamiento se realizó con equipos GNSS CHC X91b, utilizando como base el punto topográfico denominado GPS 1.

La técnica de posicionamiento RTK se basa en la solución de la portadora de las señales transmitidas por los sistemas globales de navegación por satélites GPS, Glonass y Galileo. Una estación de referencia (Base) provee correcciones instantáneas para estaciones móviles (Rover), lo que hace que con la precisión obtenida se llegue al nivel centimétrico.

La base genera y transmite las correcciones diferenciales para las estaciones, que usan los datos para determinar precisamente sus posiciones.

El formato de las correcciones diferenciales es definido por la Radio Technical Committee for Maritime Service (RTCM). Los radiotransmisores operan en las fajas de frecuencia VHF/UHF, y la observación fundamental usada en el RTK es la medida de la fase de la portadora.

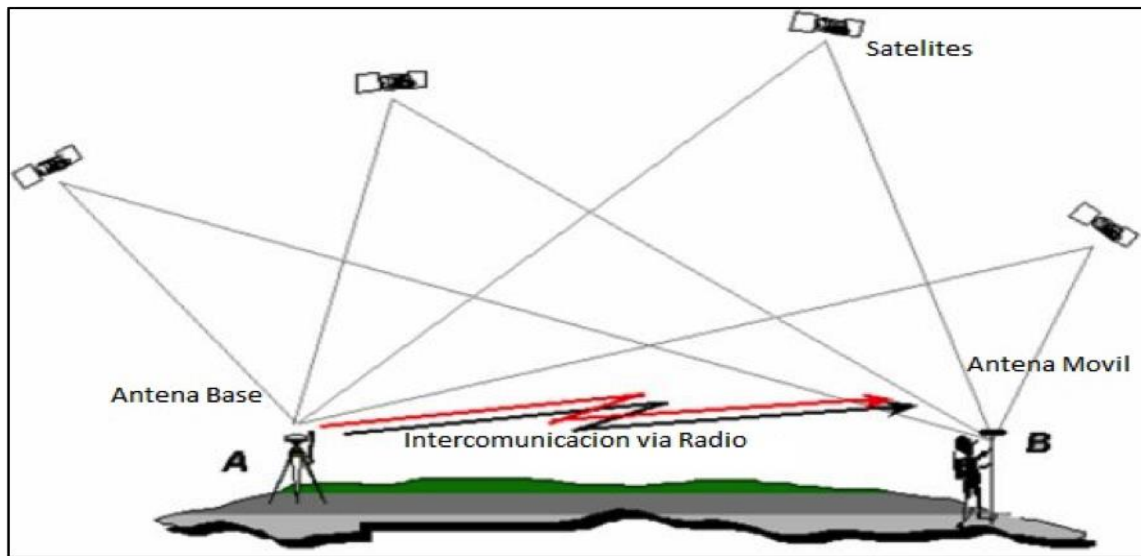


Figura 21. Levantamiento RTK. Fuente: Asema Ingeniería

El levantamiento esta generado en el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA - SIRGAS, la proyección está definida con los parámetros del sistema de proyección cartográfico origen único nacional EPSG: 9377

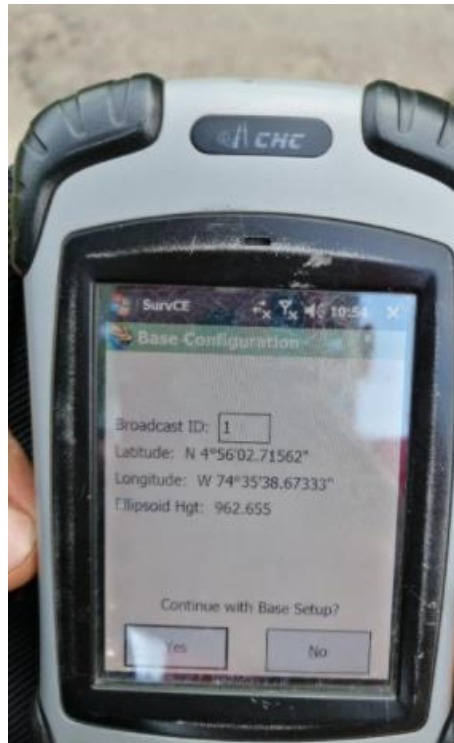


Figura 22. Sistema de coordenadas del proyecto, Fuente propia

El Procesamiento de las bases topográficas fue realizada por el topógrafo que lo hizo mediante el uso del Software Trimble Business Center mediante la siguiente metodología:

- Descarga de Rinex de las Estaciones de Rastreo del Instituto Geográfico Agustín Codazzi correspondientes al día de rastreo, obtenidos a través de la página datos abiertos del IGAC.
- Obtenidos los archivos de observación de las estaciones de rastreo del IGAC, y de esta manera se procede a obtener las coordenadas semanales ajustadas por el SIRGAS.

PERSONAL Y EQUIPOS

Para llevar a cabo las actividades correspondientes a los trabajos de campo se contó con el siguiente personal y equipo

COMISION DE TOPOGRAFIA			
PERSONAL	PROFESIONAL	NOMBRE Y APELLIDO	No. MATRICULA PROFESIONAL
1	TOPOGRAFO	JUAN DAVID GUZMAN RUBIANO	01-17037
1	CADENERO 1	JUAN SEBASTIAN OSORIO PARDO	
1	CADENERO 2	JAVIER FELIPE RIVERA TELLEZ	

Tabla 6. Personal técnico y profesional. Fuente; Propia

Matricula profesional topógrafo



Figura 23. Matricula profesional topógrafo. Fuente: Juan David Guzmán Rubiano

Para llevar a cabo el levantamiento topográfico se utilizó el siguiente equipo y su respectiva ficha técnica.

CANTIDAD	DESCRIPCION	MARCA	REFERENCIA	SERIAL
1	GPS L1/L2	CHC	X91B	944915
1	GPS L1/L2	CHC	X91B	946902

Tabla 7. Equipo utilizado. Fuente: Propia

Especificaciones técnicas

Especificaciones GNSS

- 220 canales con señales de satélite detectadas simultáneamente
 - GPS: L1C/A, L1C, L2C, L2E, L5
 - GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3
 - SBAS: WAAS, EGNOS, MSAS
 - Galileo: E1, E5A, E5B (prueba)
 - BeiDou: B1, B2
- Avanzada tecnología de mitigación de recepción múltiple
- Medida de fase de portadora con bajo nivel de ruido

Especificaciones de rendimiento⁽¹⁾

- Cinemático en tiempo real (RTK)
 - Horizontal: 8 mm + 1 ppm RMS
 - Vertical: 15 mm + 1 ppm RMS
 - Tiempo de inicialización: típico < 10 s
 - Fiabilidad de inicialización: típico > 99,9%
- Estático Postproceso
 - Horizontal: 3 mm + 0.5 ppm RMS
 - Vertical: 5 mm + 0.5 ppm RMS
 - Longitud de la línea de base: ≤ 300 km

Comunicaciones

- 1 puerto serial RS232
- 1 puerto USB de alta velocidad
- Módem GSM/GPRS integrado
- Bluetooth® clase 2 integrado
- CHC Radio Modem Rx interno: 430-450 / 450-470 Mhz
- Radio Modem opcional⁽²⁾:
 - Rx /Tx interno: 403-473 Mhz
 - Tx DLS externo: 1W - 20W ajustable
- Protocolos:
 - Entrada y salida RTCM2.1, RTCM2.3, RTCM3.0, CMR, CMR+
 - Salida NMEA0183
 - Salidas RINEX y HCN para datos brutos GNSS

- Almacenamiento de Datos:
 - 4 GB de memoria interna
 - Dispositivo GPS se conecta por el puerto USB como un disco externo

Características físicas

- Tamaño (al. x pr.): 85 mm x 180 mm (3.3 in x 7.1 in)
- Peso: 1.35k g con batería (48 oz)
- Temperatura de funcionamiento: -40°C a +65°C (-40°F a 149°F)
- Temperatura de almacenamiento: -40°C a +75°C (-40°F a 167°F)
- Humedad: 100% de condensación
- Resistente al agua y al polvo: IP67 - resistente a la inmersión temporal a profundidades de 1 metro, flota
- Golpek: resiste caídas de 2 m sobre hormigón

Especificaciones eléctricas

- Consumo de energía: 2.6 W
- Capacidad de la batería Li-Ión: 2200 mAh
- Duración de la batería: típicamente 5 horas en modo RTK
- Entrada de alimentación externa: 9-18 VDC

Software (opcional)

- Software de colecta de datos de campo Landstar de CHC
- Software de colecta de datos de campo SurvCE de Carlson

(1) Las especificaciones de precisión y fiabilidad pueden verse afectadas por la recepción múltiple, la geometría satelital y las condiciones atmosféricas. Para el rendimiento se parte de un mínimo de 5 satélites, en virtud de las prácticas generales de GPS recomendadas. (2) Las homologaciones de tipo UHF dependen de cada país.

Las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso.

Figura 24. Especificación Técnica Equipo GNSS. Fuente:ACDI/VOCA

GEOLOGIA

El municipio dada su ubicación se encuentra en el flanco occidental de la cordillera oriental y en inmediaciones al valle medio del Magdalena, presenta características litológicas variadas de intensa actividad tectónica. (Gómez, L. Castiblanco, C, 1989) La cordillera oriental está constituida por rocas sedimentarias de edad cretácica en su mayoría y el valle medio del Magdalena lo constituyen sedimentos terciarios (Gómez, L. Castiblanco, C, 1989). Los suelos de Chaguaní

están desarrollados a partir de cenizas volcánicas depositadas sobre planares y areniscas, son moderadamente profundos con un contenido de materia orgánica de alto a muy alta, pendiente desde 25% a 50% y más. (Agustín Codazzi,1972)

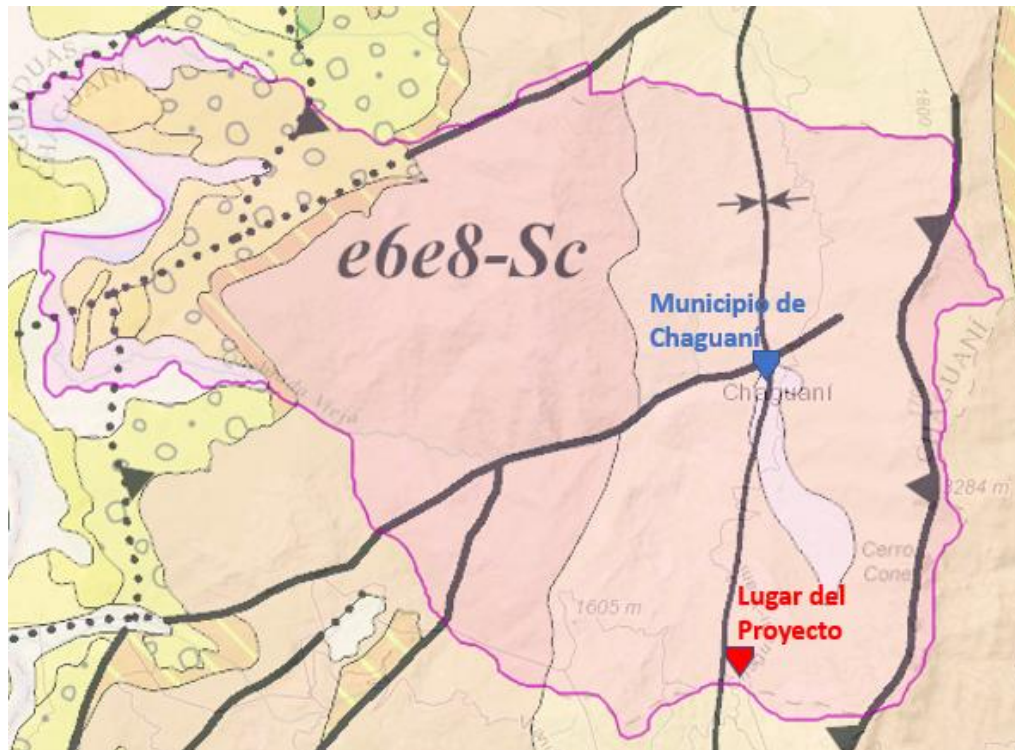


Figura 25. Mapa Geológico de Chaguani. Fuente: Atlas Geológico de Colombia 2015 (IGAC)

Como se observa en la Figura 25, se representa la plancha geológica del municipio de Chaguani, obtenida del Atlas Geológico de Colombia (IGAC,2015). A nivel general este municipio posee Arcillolitas rojizas con intercalaciones de cuarzoarenitas de grano fino y localmente mantos de carbón a la base. La Geología local del sitio del proyecto, presenta como tipo de suelo unas Arcillolitas abigarradas y unas cuarzoarenitas de grano fino. En términos generales, encontramos que allí predominan los suelos tipos arcillosos, con una baja presencia de areniscas de grano fino; Además, el tipo de roca que se encuentra allí son rocas siliclasticas desde el periodo Paleógeno

(Geological Map of South America IGAC, 2019) las cuales son rocas sedimentarias clásticas que se componen de cuarzo o silicatos (UNAM,2020).

CLIMA

Chaguaní Cundinamarca es un municipio que tiene un clima ecuatorial, generalmente es muy caluroso, húmedo y lluvioso durante el transcurso del año, sus veranos suelen ser cortos y muy calientes, en época de invierno también son muy cortas, húmedas y nubladas. La temperatura media anual es de 19° C, pero esta varía durante el transcurso del año entre los 17° C a 28° C, rara vez se alcanza temperaturas mínimas que llegan a los 15° C y temperaturas máximas de 32° C, la precipitación media es de 1216 mm, una humedad media relativa del 83% y un índice UV (indicador de la intensidad de radiación ultravioleta) de 4. (Weather Spark,2021)

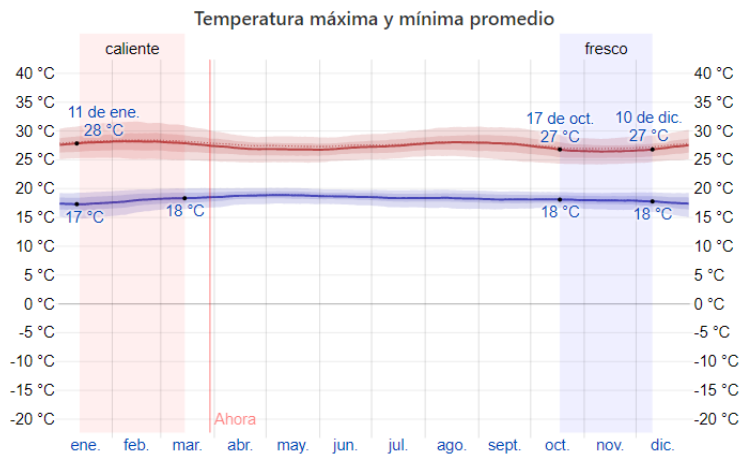


Figura 26. Temperatura máxima y mínima promedio en Chaguaní Cundinamarca. Fuente: Merra-2

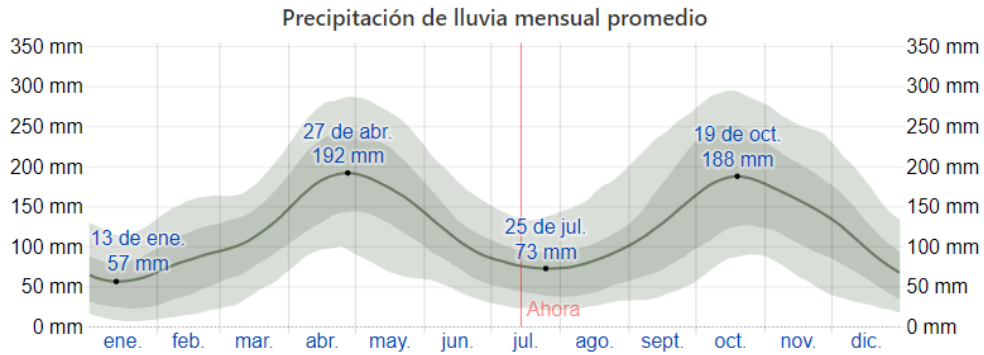


Figura 27. Precipitación de lluvia mensual promedio. Fuente: Merra-2

DESCRIPCIÓN DEL DESLIZAMIENTO

El sitio de intervención que hace parte de este proyecto se ubica en el costado derecho del puente Las Sardinas en la vía Chaguaní – Vianí, de acuerdo con la exploración en campo se pudo identificar partes fundamentales del talud para analizar qué tipo de actividad se está generando en el talud y está causando la inestabilidad.

En la actividad de exploración en campo se identificó que, en la parte superior de la corona del talud se realizó una zanja o canal de tipo manual con unas dimensiones aproximadas de unos 2 metros de ancho y 2 metros de profundidad a lo largo de todo el talud por los dueños de la propiedad, esto se hizo con el fin de evitar que el talud siguiera presentando constantes deslizamientos debido a la alta humedad del suelo que es causada por un afloramiento de agua que se presenta en la zona, el cauce de este afloramiento se ve interceptado por la zanja y de esta manera transportado hasta la quebrada las sardinas.



Figura 28. Afloramiento de agua en la zona de estudio. Fuente: propia

Durante la inspección se pudo reconocer algunas partes fundamentales y el estado actual del talud para dar una visión más clara del tipo de deslizamiento que se está presentando en la zona de estudio, actualmente se encuentra en un estado inactivo debido a la vegetación que se presenta en la zona donde han crecido algunas plantas y árboles, pero en algunas zonas del talud no ha crecido vegetación debido a la erosión y humedad del suelo como se observa en la figura 27 y 28, el escarpe principal se evidencia en la figura 29 y el escarpe secundario en la figura 28.



Figura 29. Suelo húmedo poca presencia de vegetación: propia



Figura 30. Escarpe secundario. Fuente: propia



Figura 31. Escarpe principal: propia



Figura 32. Inclinación de los árboles. Fuente: propia

Se evidenció que al costado de la vía y a un extremo del puente hay caída de rocas demostrando las afectaciones de los antiguos deslizamientos en la infraestructura vial de la zona causando deterioro, el estado de la vía se ha ido deteriorando por los deslizamientos que se han presentado en la zona por el desconfinamiento de la banca y los hundimientos progresivos, en el pavimento se evidenció que hacia la zona de desconfinamiento hay un mayor deterioro presentado en ondulaciones y huecos.



Figura 33. Deterioro de la vía. Fuente: propia



Figura 34. Caída de rocas. Fuente: propia

Finalmente se planteó la hipótesis de que el deslizamiento que se está presentando en la zona de estudio es un deslizamiento de tipo traslacional, en el proceso de caracterización y clasificación del deslizamiento se evidencia un deterioro por erosión de afloramiento de agua y lluvia causando desprendimientos, transporte y depósitos de masa debido a las fuerzas generadas por el movimiento del agua y las gotas de lluvia que al concentrarse causan surcos y cárcavas. Para la clasificación del movimiento en masa se usa el sistema propuesto por Varnes (1978), la ladera está presentando un deslizamiento traslacional debido a que el movimiento de la masa se desplaza hacia abajo, a lo largo de la superficie de la ladera, el material transportado es superficial debido a los cambios de la resistencia al corte del material que conforma la superficie del talud, además en muchos deslizamientos de traslación la masa se deforma o se rompe y se convierte en flujo, caso tal que se observa en el centro de la ladera donde se ha formado un lodo. En la exploración del terreno se evidencian dos tipos de escarpe, el escarpe principal y un escarpe secundario como se muestra en la figura 30 y figura 31.

En la figura 35 se ven las partes del deslizamiento, también se observa las zonas de desconfinamiento de la banca y los flancos, también afectaciones en la vía y en el sardinel que se encuentra en el costado de la ladera afectado por el material desplazado y que ha caído en la vía causando hundimientos, piel de cocodrilo y baches en la vía. Se observó que en el centro del talud hay una zona en donde se ve claramente el hundimiento que se logra representar en el plano topográfico (Figura 36) y el registro fotográfico de la inclinación de los árboles presentes en la ladera (Figura 32).

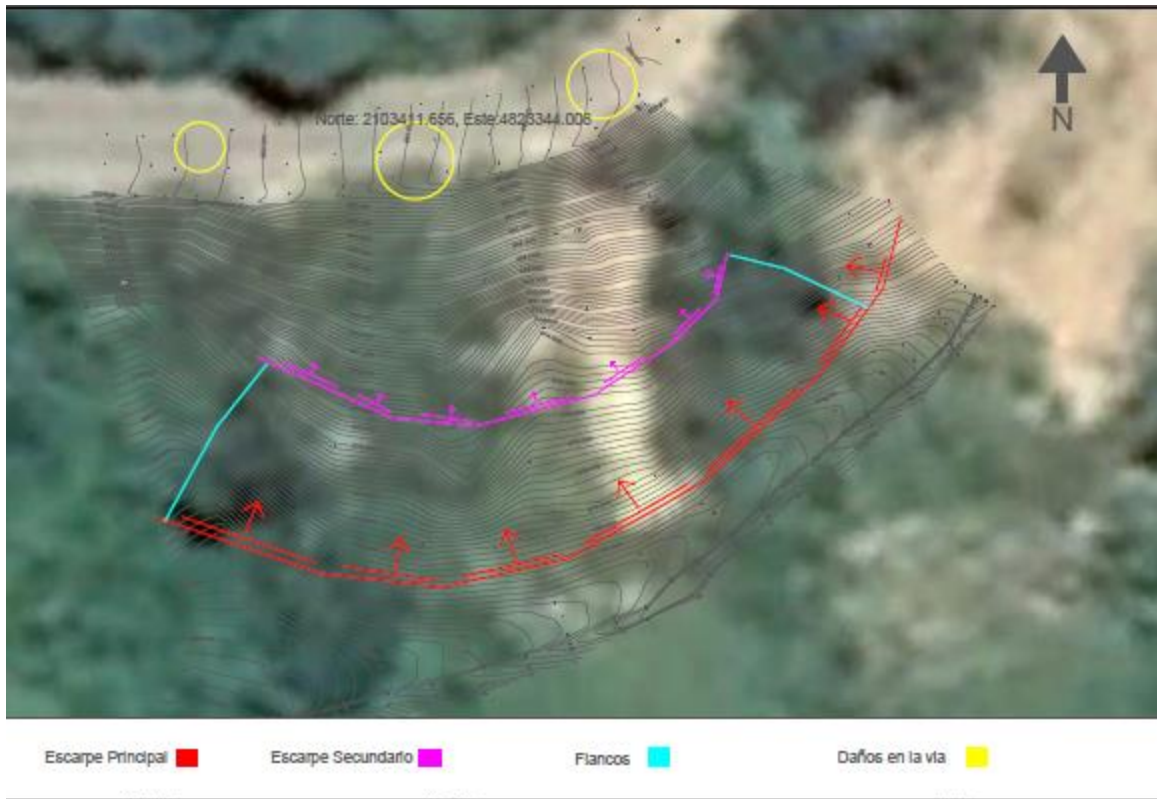


Figura 35. Características deslizamiento. Fuente: Propia

PLAN DE EXPLORACIÓN DEL TERRENO Y ENSAYOS

Con el objetivo de realizar un modelo geológico y conocer a profundidad las características de la ladera, se realizó un viaje de campo en donde se ejecutó una exploración directa por medio de un sondeo mecánico.

EXPLORACIÓN DIRECTA

La ubicación de los sondeos se representa en la figura 34. La selección del posicionamiento de los sondeos se hizo de tal forma que pudieran abarcar de forma longitudinal toda la ladera y también las zonas más críticas de la misma.

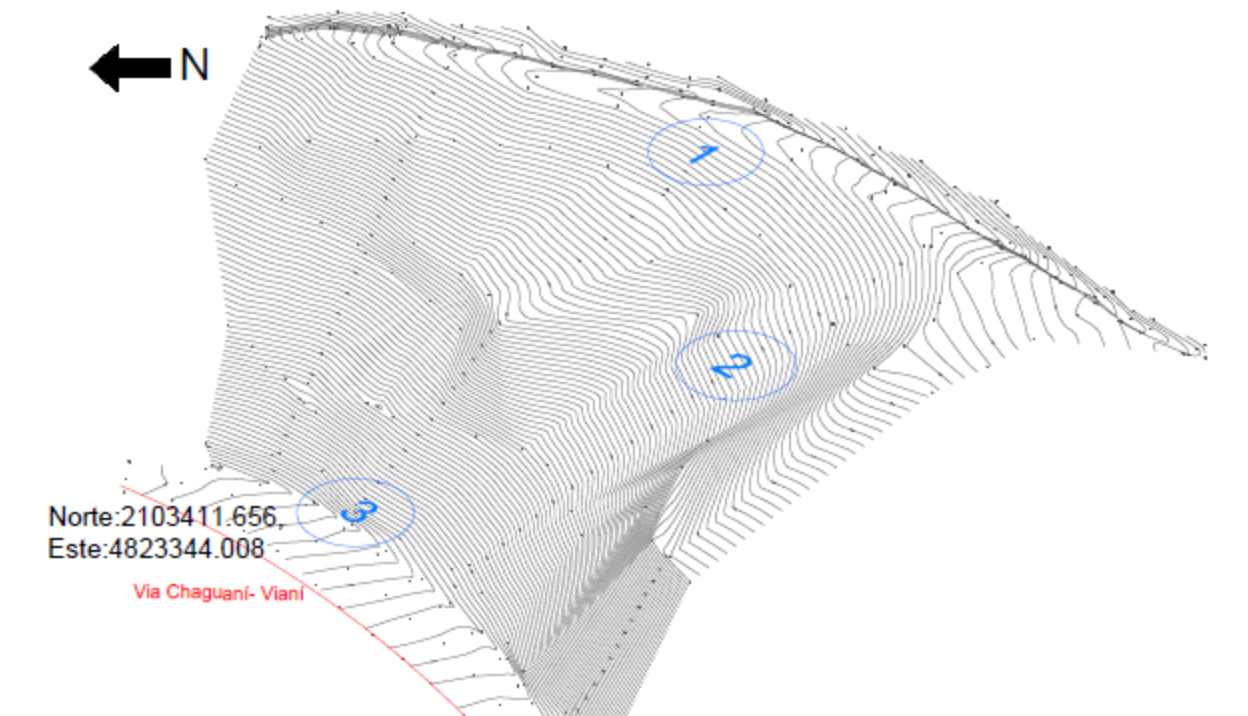


Figura 36. Ubicación de los sondeos en la topografía de zona de estudio. Fuente: Propia

Las coordenadas exactas de cada uno de los sondeos se encuentran reflejadas en la Tabla 10, cabe resaltar que las coordenadas representadas en la tabla se encuentran en formato MAGNA SIRGAS.

Tramo N°	Sondeo N°	Descripción	Coordenadas		Profundidad Final (m)
			Este	Norte	
1	S1	Sitio de intervención	4823459,23	2103379,656	6,00
	S2	Sitio de intervención	4823461,263	2103395,237	3,40
	S3	Sitio de intervención	4823456,842	2103400,996	0,90

Tabla 8. ubicación de los sondeos realizados. fuente: propia

SONDEO MANUAL

Para la exploración se realizaron 3 sondeos mecánicos, estos sondeos fueron perforaciones SPT (Standar Penetration Test) de forma manual. Cabe resaltar que se seleccionó este tipo de sondeo debido a su sencillez, rapidez y economía.



Figura 37. Equipo SPT usado para la exploración manual. Fuente: Propia

En el Anexo 7 se pueden observar los registros de perforación y los resultados de ensayos de laboratorio realizados.

SONDEO 1

El sondeo N°1 se realizó en la parte alta de la ladera, exactamente en las coordenadas Norte: 2103379,65 y Este: 4823459,23. La profundidad máxima que se alcanzó en este sondeo fue 6.00 m.

REGISTRO DE CAMPO										FT-G-006	
										SGC VERSION 002 FEBRERO 2020	
REGISTRO DE PERFORACION										VERSION 01 ENERO -2018	
Proyecto: Prediseño para la Estabilizacion de la Ladera del Acceso Sur-Occidental al Puente Sardinas											
Localizacion: Via Chaguani - Viani Cundinamarca											
N-W		SONDEO			x		APIQUE		PERFORACION No.		1
										NIVEL FREATICO (m)	
PROFUNDIDAD AD (m)	MUESTRA			No de Golpes a pie			VELETA DE CAMPO	PENETROMETRO BOLSILLO	Descripcion del Subsuelo		
	No	TIPO	PROFUNDIDAD AD (m)	6"	6"	6"				kg/cm ²	
###			DE	A							
0,20									Capa Vegetal		
1,50	1	SPT	0,80 - 1,30		4	4	4		Arcilla baja plasticidad arenosa CL, con gravas, café claro, vetas habanas con oxidaciones		
2,20	2	SPT	1,50 - 2,00		6	8	8		Arcilla media plasticidad arenosa CL, con gravas, café claro, vetas habanas, amarillas, grises con		
3,30	3	SPT	2,20 - 2,70		3	3	4		Arcilla media plasticidad con Arena CL, café claro, vetas habanas, amarillas, moradas con oxidaciones		
4,00	4	SPT	3,30 - 3,80		4	3	4		Arcilla baja plasticidad arenosa CL, café claro, vetas grises, amarillas, con oxidaciones		
5,00	5	SPT	4,00 4,50		5	4	5		Arcilla baja plasticidad arenosa CL, café claro, vetas grises, amarillas, con oxidaciones		
6,00	6	SPT	5,00 - 5,50		5	4	3		Arcilla baja plasticidad arenosa CL, café claro, vetas grises, amarillas con oxidaciones		

Tabla 9. Registro de campo Sondeo N°1. Fuente: Propia

En las imágenes a continuación se muestra el registro fotográfico de cada una de las muestras obtenidas en el sondeo N°1



Figura 38. Muestra 1-Sondeo N°1. Fuente: Propia



Figura 39. Muestra 2-Sondeo N°1. Fuente: Propia



Figura 40. Muestra 3-Sondeo N°1. Fuente: Propia



Figura 41. Muestra 4-Sondeo N°1. Fuente: Propia



Figura 42. Muestra 5-Sondeo N°1. Fuente: Propia



Figura 43. Muestra 6-Sondeo N°1. Fuente: Propia

SONDEO 2

El sondeo N°2 se realizó en la parte media de la ladera, exactamente en las coordenadas Norte: 2103395,237 y Este: 4823461,263. La profundidad máxima que se alcanzó en este sondeo fue de 3.40m, debido a que en esta profundidad el equipo de SPT arrojaba el rechazo.

-LE-TEC-08		REGISTRO DE PERFORACION						VERSION 01 ENERO -2018	
Proyecto:		Prediseño para la Estabilización de la Ladera del Acceso Sur-Occidental al Puente Sardinas							
Localización:		Via Chaguani - Viani Cundinamarca							
N-W		SONDEO	x	APIQUE		PERFORACION No.	2		
NIVEL FREATICO (m)									
PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA			No de Golpes x pie			VELETA DE CAMPO	PENETROMETR O BOLSILLO	Descripcion del Subsuelo
	No	TIPO	PROFUNDIDAD (m)	6"	6"	6"			
0,00			DE	A					
0,10									Capa Vegetal
1,00	1	Bolsa	0,10 - 1,00						Arcilla baja plasticidad arenosa CL, gris claro, vetas cafes, amarillas con oxido
2,00	2	SPT	1,00 - 1,50	4	4	5			Arcilla baja plasticidad arenosa CL, café claro, vetas grises, habanas con oxidaciones y raices
3,00	3	SPT	2,00 - 2,50	6	6	7			Arcilla media plasticidad gravosa CL, café claro, vetas grises habanas con oxidaciones y raices
3,40	4	SPT	3,00 - 3,40	15	18	15			Arcilla baja plasticidad arenosa CL, café claro, vetas habanas con oxidaciones

Tabla 10. Registro de perforación Sondeo N°2. Fuente: Propia

Las imágenes a continuación muestran el registro fotográfico de cada una de las muestras obtenidas en el sondeo



Figura 44. Muestra 2-Sondeo 2. Fuente: Propia



Figura 45. Muestra 3 – Sondeo2. Fuente: Propia

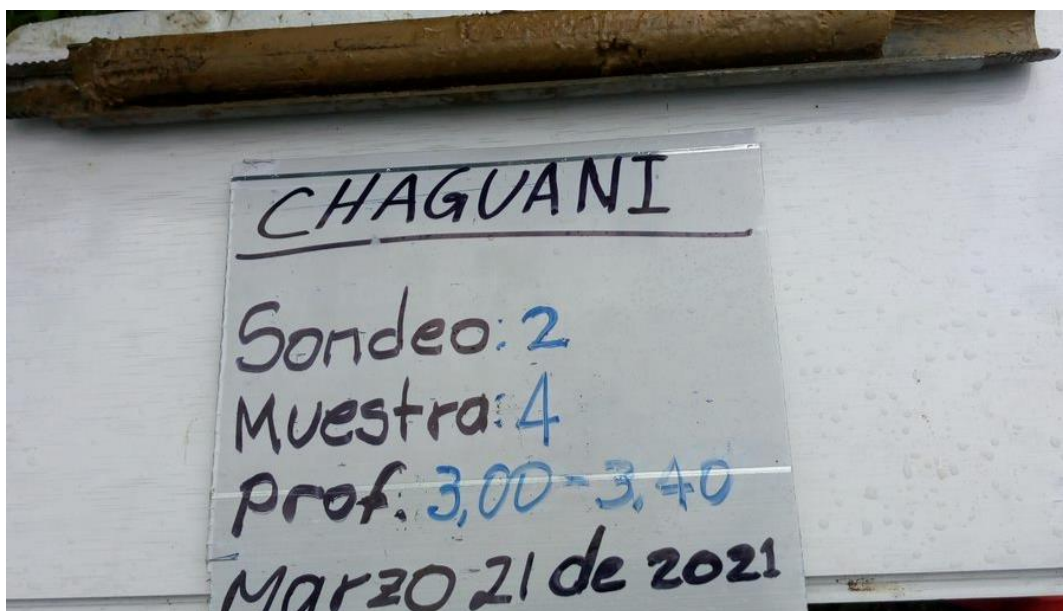


Figura 46. Muestra 4 – Sondeo 2. Fuente: Propia

SONDEO 3

El sondeo N°3 se realizó en la parte baja de la ladera, a pocos centímetros de la vía. Exactamente en las coordenadas Norte: 2103400,996 y Este: 4823456,842. La profundidad máxima que alcanzó este sondeo fue a 0.90m, debido a que el equipo ya arrojaba rechazo. Cabe resaltar que se quitó una capa de asfalto de aproximadamente 0.20m antes de que realizar el sondeo.

F-LE-TEC-001		REGISTRO DE PERFORACION						VERSION 01 ENERO -2018	
Proyecto:		Prediseño para la Estabilizacion de la Ladera del Acceso Sur-Occidental al Puente Sardinas							
Localizacion:		Via Chaguani - Viani Cundinamarca							
N-W		SONDEO	X	APIQUE		PERFORACION No.	3		
NIVEL FREATICO (m)									
PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA			No de Golpes x pie			VELETA DE CAMPO	PENETROMETRO BOLSILLO	Descripcion del Subsuelo
	No	TIPO	PROFUNDIDAD (m)	6"	6"	6"			
0,00			DE	A	6"	6"	6"		
0,10									Capa Vegetal
0,40	1	Bolsa	0,80 - 1,30						Arena limosa con Grava SM, habana, vetas amarillas
0,60	2	Bolsa	1,50 - 2,00						Arena limosa con Grava SM, café claro, vetas grises, moradas con oxidaciones
0,90	3	SPT	0,60 - 0,90		9	9	Rechazo		Arcilla baja plasticidad CL, café claro, vetas grises, moradas con oxidaciones

Tabla 11. Registro de perforación Sondeo N°3. Fuente: Propia

Las imágenes a continuación muestran el registro fotográfico que se obtuvo en el sondeo N°3



Figura 47. Muestra 3 – Sondeo N°3. Fuente: Propia



Figura 48. Sondeo N°3. Fuente: Propia



Figura 49. Sondeo N°3. Fuente: Propia

RESULTADOS DE LABORATORIO

En la siguiente tabla se representa el cuadro resumen de los resultados obtenidos en el laboratorio.

Cabe resaltar que la información detallada se encuentra en el Anexo 7, en donde se muestra cada uno de los laboratorios realizados a cada una de las muestras.

	Sondeo	Muestra	Tipo	Profundidad (m)
1	S01	M1	SPT	0,80 - 1,30
2	S01	M2	SPT	1,50 - 2,00
3	S01	M3	SPT	2,20 - 2,70
4	S01	M4	SPT	3,30 - 3,80
5	S01	M5	SPT	4,00 - 4,50
6	S01	M6	SPT	5,00 - 5,50
7	S02	M1	SPT	0,10 - 1,00
8	S02	M2	SPT	1,00 - 1,50
9	S02	M3	SPT	2,00 - 2,50
10	S02	M4	SPT	3,00 - 3,40
11	S03	M1	SPT	0,10 - 0,40
12	S03	M2	SPT	0,40 - 0,60
13	S03	M4	SPT	0,60 - 0,90

Tabla 12. Cuadro Resumen resultados de Laboratorios. Fuente: Propia

	Sondeo	LL(%)	LP(%)	IP(%)	W(%)
1	S01	28,97	16,15	12,82	8,5
2	S01	30,83	15,19	15,65	8,8
3	S01	31,86	16,31	15,55	12,0
4	S01	29,80	14,78	15,02	13,9
5	S01	29,13	18,04	11,09	14,9
6	S01	29,09	15,15	13,93	16,1
7	S02	28,67	14,82	13,85	15,0
8	S02	28,10	15,03	13,07	7,4
9	S02	30,73	16,75	13,97	10,5
10	S02	29,67	15,52	14,15	13,0
11	S03	14,97	11,40	3,57	2,4
12	S03	18,10	14,12	3,98	12,5
13	S03	29,16	18,67	10,49	6,0

Tabla 13. Cuadro Resumen resultados de Laboratorios. Fuente. Propia

	Sondeo	GRAVAS %	ARENA %	FINOS %	CLASIFICACION USCS	Gs
1	S01	5,05	35,7	59,3	Arcilla baja plasticidad arenosa CL	2,686
2	S01	27,19	27,9	59,3	Arcilla media plasticidad arenosa CL	2,663
3	S01	1,78	19,8	59,3	Arcilla media plasticidad con Arena CL	
4	S01	0,00	40,5	59,3	Arcilla baja plasticidad arenosa CL	2,702
5	S01	1,15	39,1	59,3	Arcilla baja plasticidad arenosa CL	2,683
6	S01	0,00	36,4	59,3	Arcilla baja plasticidad arenosa CL	2,680
7	S02	1,92	43,2	59,3	Arcilla baja plasticidad arenosa CL	
8	S02	2,05	37,6	59,3	Arcilla baja plasticidad arenosa CL	2,710
9	S02	24,24	22,6	59,3	Arcilla media plasticidad gravosa CL	2,730
10	S02	2,89	39,9	59,3	Arcilla baja plasticidad arenosa CL	2,702
11	S03	30,52	55,6	59,3	Arena limosa con Grava SM	
12	S03	27,19	59,2	59,3	Arena limosa con Grava SM	
13	S03	0,00	6,4	59,3	Arcilla baja plasticidad CL	2,766

Tabla 14. Cuadro Resumen resultados de Laboratorios. Fuente. Propia

	Sondeo	Peso unitario total (g/cm ³)	Peso unitario seco (g/cm ³)	C' (kPa)	φ' (°)	Cu (kPa)	qu (kPa)	Consistencia del Suelo
1	S01	2,069	1,91			2,76	5,53	Dura
2	S01	2,147	1,97			2,35	4,70	Dura
3	S01					0,95	1,90	Firme
4	S01	2,140	1,88			1,06	2,13	Muy Firme
5	S01	2,122	1,85			0,68	1,36	Firme
6	S01					0,53	1,06	Firme
7	S02	2,104	1,83					
8	S02	2,156	2,01			3,99	7,99	Dura
9	S02	2,226	2,01			2,61	5,23	Dura
10	S02					1,43	2,87	Muy Firme
11	S03							
12	S03							
13	S03	2,234	2,11					

Tabla 15. Cuadro Resumen resultados de Laboratorios. Fuente. Propia

ANALISIS DE LOS PARAMETROS

Con base en los resultados de los laboratorios, se generaron los gráficos de los siguientes valores: Humedad, Limite Liquido, Índice de Plasticidad, Gravedad Especifica, %Arenas, %Finos, Cu y qu. Estos gráficos se realizaron con base en la profundidad de los sondeos anteriormente mencionados.

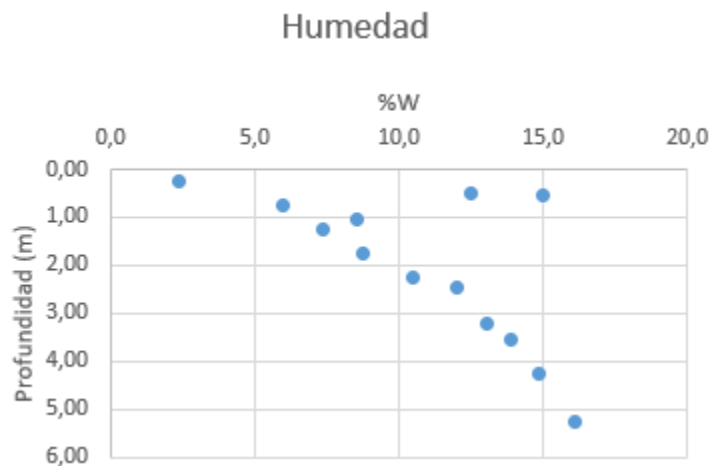


Figura 50. Gráfico % Humedad. Fuente: Propia

La figura 50 representa la gráfica del porcentaje de humedad en comparación con la profundidad. En esta se observa un crecimiento exponencial de la humedad a medida que la profundidad aumenta. Esto significa que a medida que se aumenta la profundidad el peso del agua o la cantidad de agua encontrada en la masa de suelo es mayor.

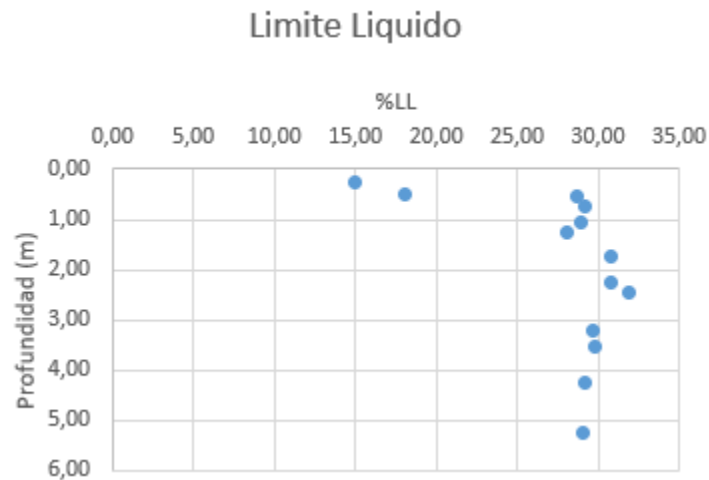


Figura 51. Gráfico límite líquido. Fuente: Propia

La figura 51 representa la figura del límite líquido del suelo respecto a la profundidad, el límite líquido de un suelo se define como “El contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra” (Villalaz. C, 1980)

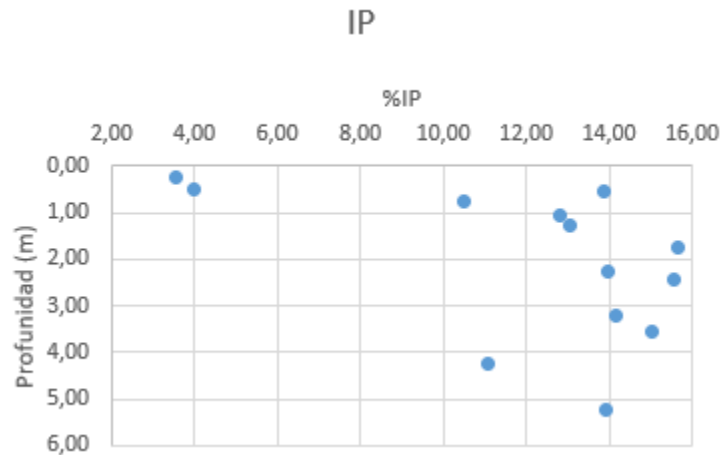


Figura 52. Gráfico Índice de plasticidad. Fuente: Propia

La figura 52 representa el IP (índice de Plasticidad) del suelo con respecto a la profundidad. “Se denomina Índice de Plasticidad a la diferencia numérica entre los límites líquido y plástico, e indica el margen de humedades” (Villalaz. C, 1980). En la gráfica se observa que el índice de plasticidad no supera el 20% por que la compresibilidad de las muestras de suelo no es tan alta.

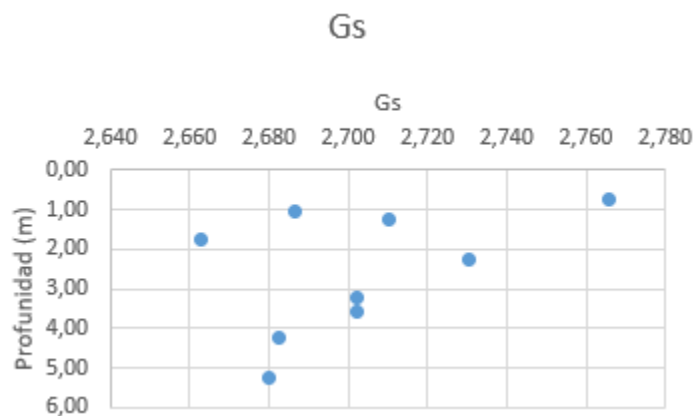


Figura 53. Gráfico Gravedad Especifica. Fuente: Propia

La figura 53 representa la gráfica de los valores de gravedad especifica en comparación con la profundidad de los sondeos. La gravedad específica “Es la relación entre la masa de un cierto

volumen de sólidos a una temperatura dada y la masa del mismo volumen de agua destilada y libre de gas, a la misma temperatura” (Cruz. L, 2016). La gravedad específica se utiliza para calcular las relaciones de fases de los suelos, como lo son la relación de vacíos y el porcentaje de saturación.

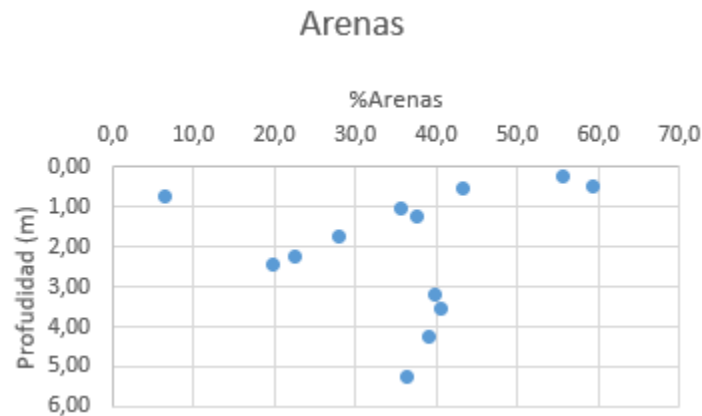


Figura 54. Gráfico %Arenas. Fuente: Propia

La figura 54 representa el porcentaje de arenas con respecto a la profundidad. Este grafica se obtiene a partir de un proceso de granulometría en donde se pasan las muestras por varios tamices de diversos tamaños y con esto se encuentra la cantidad o el porcentaje de arenas en las muestras estudiadas. Cabe resaltar que el tamaño de las arenas se encuentra alrededor de 0.05mm a 2.00mm. En la gráfica se observa que después de los 3 metros de profundidad se encuentra un porcentaje constante de arenas alrededor del 40%. Antes de los 3 metros el porcentaje de arenas es muy disperso, lo que tal vez representa el cambio de un estrato de suelo a otro.

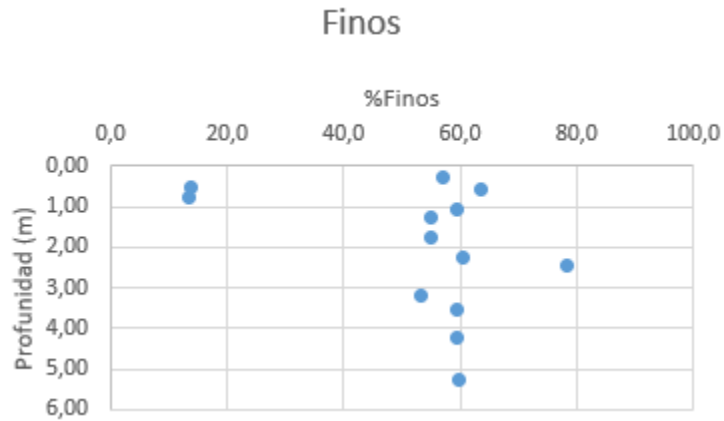


Figura 55. Gráfico %Finos. Fuente: Propia

De igual manera, la figura 55 representa el porcentaje de finos con respecto a la profundidad. Este grafica se obtiene a partir de un proceso de granulometría en donde se pasan las muestras por varios tamices de diversos tamaños y con esto se encuentra la cantidad o el porcentaje de finos en las muestras estudiadas. Cabe resaltar que, los finos tienen en cuenta materiales tales como limos y arcillas. En donde su tamaño se encuentra alrededor de $<0.002\text{mm}$ a 0.05mm . En la gráfica se observa que el porcentaje de finos a excepción de 3 datos se encuentra alrededor del 60%. Lo cual demuestra que las muestras de suelo obtenidas hacen referencia a suelos limo-arcillosos.

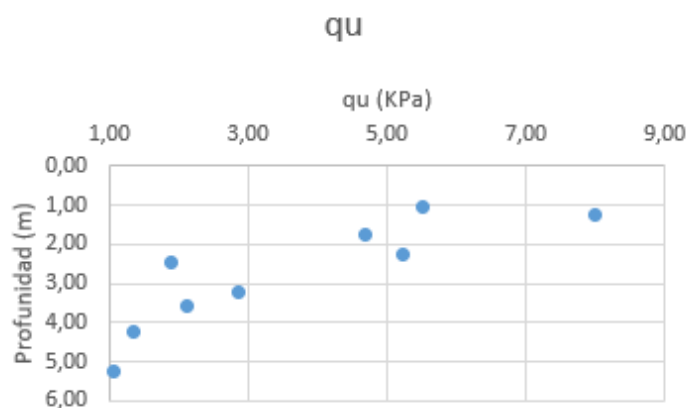


Figura 56. Gráfico valor qu. Fuente: Propia

La figura 56 representa la gráfica de la resistencia o carga última del suelo (q_u) con respecto a la profundidad. Esta grafica se generó con base en el laboratorio de Compresión inconfiada que se les realizó a las muestras de suelo. También, con base en estos resultados de la carga última del suelo, se puede definir el tipo de consistencia de suelo.

ANÁLISIS SPT

El análisis SPT se realizó para poder identificar los estratos de suelos encontrados en las perforaciones realizadas en campo, esto se hizo con el fin de encontrar un perfil estratigráfico acertado separado por materiales, por medio de los 3 sondeos y las muestras obtenidas en cada sondeo se realizó un análisis para determinar la consistencia del suelo según los números de golpes realizados y la profundidad promedio.

SONDEO No	Numero de Golpes	Profundidad Promedio
S01	8	1,05
S01	16	1,75
S01	7	2,45
S01	7	3,55
S01	9	4,25
S01	7	5,25
S02	9	1,25
S02	13	2,25
S02	33	3,2
S03	9	0,75

Tabla 16. Cuadro análisis SPT. Fuente. Propia

Cohesivos (Consistencia)		Granulares (Compacidad)	
Muy blanda	0 - 2	Muy Suelta	1 - 4
Blanda	2 - 4	Suelta	4 - 10
Medio blanda	4 - 8	Medio Suelta	10 - 20
Firme	8 - 15	Medio Densa	20 - 30
Muy firme	15 - 30	Densa	30 - 50
Dura	30 - 45	Muy Densa	50
Muy dura	45		

Tabla 17. Cuadro de consistencia y compacidad según número de golpes SPT. Fuente: Terzaghi y Peck, 1955

La tabla 18 representa la clasificación de la consistencia de los suelos cohesivos o la compacidad de los suelos granulares a partir del número de golpes arrojados en el ensayo de SPT; Clasificando estas características con una escala de colores que representa el tipo de consistencia o compacidad. Con base en esto, se tomaron los resultados obtenidos en el análisis y se realizó una gráfica en donde se representa el número de golpes dados en el ensayo SPT con respecto a la profundidad (Figura 57). Esta gráfica, se realizó con la clasificación de la escala de colores mostrada en la tabla 18. También se analizaron los 3 sondeos realizados en campo, representándolos de la siguiente manera:

- Sondeo 01: ◆
- Sondeo 02: ■
- Sondeo 03: △

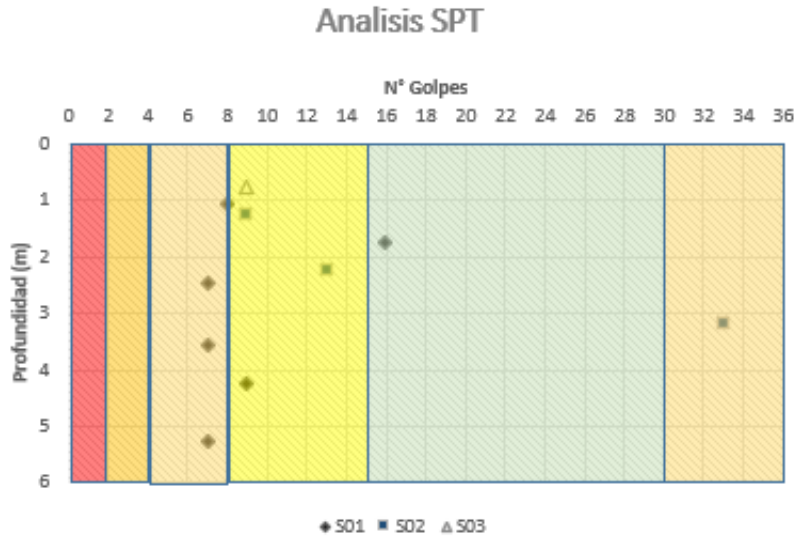
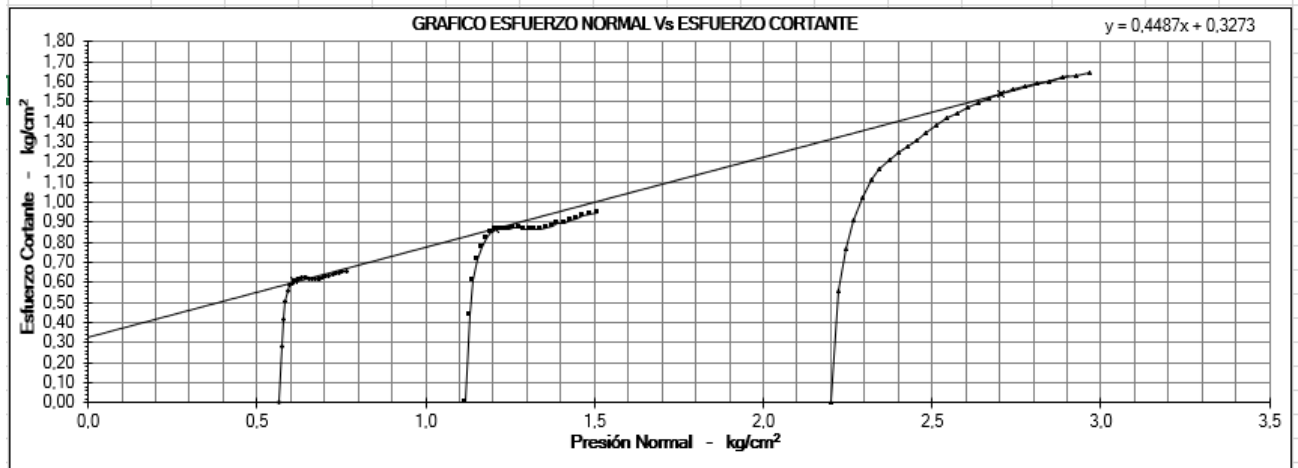


Figura 57. Análisis SPT número de golpes vs profundidad. Fuente. Propia

PARAMETROS OBTENIDOS ENSAYO SPT

Con base en las muestras obtenidas en cada uno de los sondeos, se realizaron análisis y se obtuvieron parámetros tales como Angulo de fricción y cohesión. Cabe resaltar que estos parámetros obtuvieron a partir del laboratorio de “Determinación de la resistencia al corte método de corte directo I.N.V.E - 154 -13” Esta prueba se llevó a cabo deformando una muestra a velocidad controlada, cerca de un plano de corte determinado por la configuración del aparato de ensayo. (INVIAS,2013)

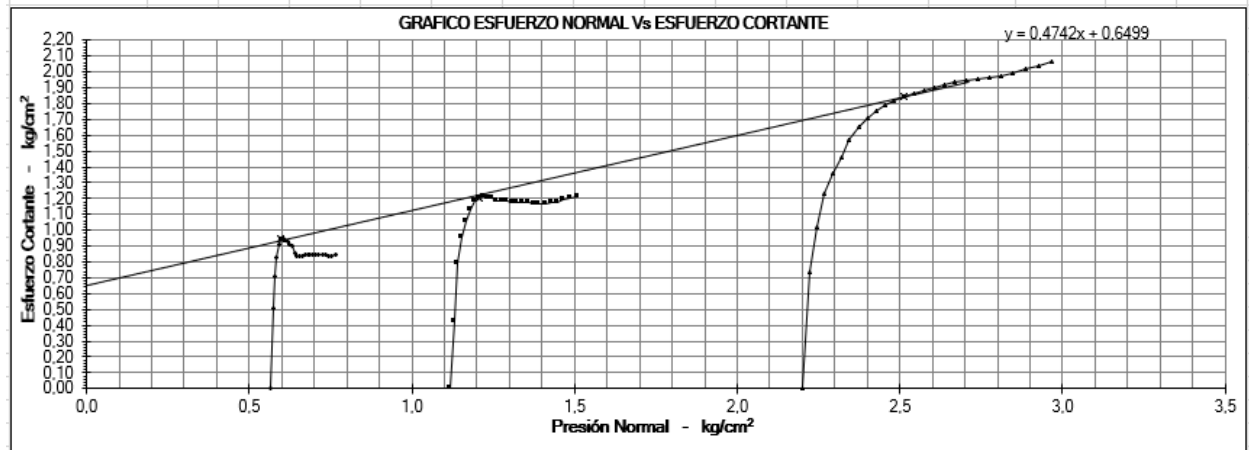
PROYECTO:	Prediseño para la Estabilización de la Ladera del Acceso Sur-Occidental al Puente Sardinas	SONDEO:	1
LOCALIZACIÓN:	Via Chaguani - Viani Cundinamarca	MUESTRA:	3
DESCRIPCIÓN:	Arcilla media plasticidad con Arena CL	PROFUNDIDAD (m):	2,20 - 3,30
		FECHA ENSAYO	Abril 27 de 2021



RESULTADOS			
ESFUERZO NORMAL (Kg./cm ²)	0,611	1,206	2,704
ESFUERZO CORTANTE (Kg./cm ²)	0,606	0,862	1,542
ÁNGULO DE FRICCIÓN ϕ	24,17		
COHESIÓN c Kg/cm ²	0,327		

Figura 58. Parámetros obtenidos Sondeo N°1. Fuente: Propia

PROYECTO:	Prediseño para la Estabilización de la Ladera del Acceso Sur-Occidental al Puente Sardinas	SONDEO:	2
LOCALIZACIÓN:	Via Chaguani - Viani Cundinamarca	MUESTRA:	4
DESCRIPCIÓN:	Arcilla media plasticidad con Arena CL	PROFUNDIDAD (m):	3,00 - 3,40
		FECHA ENSAYO	Abril 28 de 2021



RESULTADOS			
ESFUERZO NORMAL (Kg./cm ²)	0,597	1,206	2,512
ESFUERZO CORTANTE (Kg./cm ²)	0,944	1,205	1,847
ÁNGULO DE FRICCIÓN ϕ	25,37		
COHESIÓN c Kg/cm ²	0,650		

Figura 59. Parámetros obtenidos Sondeo N°2. Fuente: Propia

Todos los datos anteriormente mostrados, sirvieron para realizar la clasificación y tener un mejor panorama del tipo de suelo. Los valores del Limite Liquido y el Índice de plasticidad, sirvieron para clasificar el tipo de suelo con base en la Grafica de Plasticidad del USCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) (Ver Anexo 7). Además, aproximadamente desde los 3.10m de profundidad, se genera en algunos gráficos una agrupación de datos, lo cual evidencia un posible cambio de estrato, lo cual se corroboró con el análisis del ensayo de SPT, en donde según la clasificación mostrada en la Tabla 18, nos muestra que tenemos dos estratos: El primero de ellos es un estrato de “Arcilla de baja plasticidad CL, color café claro con vetas amarillas” que según la clasificación posee una consistencia Firme. Y el segundo estrato es una “Arcilla de baja plasticidad CL, color café claro presencia de algunas oxidaciones” y su consistencia es Dura.

PERFILES ESTRATIGRAFICOS

Con los resultados obtenidos en el análisis SPT se obtuvo una imagen más clara para la conformación de los perfiles estratigráficos para cada uno de los 3 sondeos realizados en campo, al realizar los respectivos perfiles estratigráficos se encontró tres tipos de materiales que fueron los siguientes: arcilla de baja plasticidad de consistencia firme “CL”, arcilla de baja plasticidad de consistencia dura “CL” y una arena limosa con grava “SM”.

Sondeo N°1

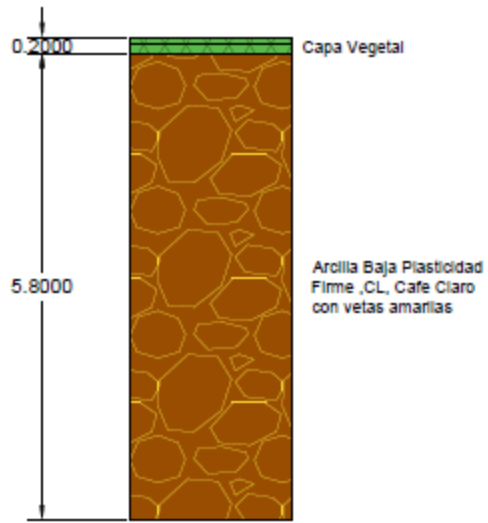


Figura 60. Perfil estratigráfico sondeo No 1. Fuente. Propia

Sondeo N°2

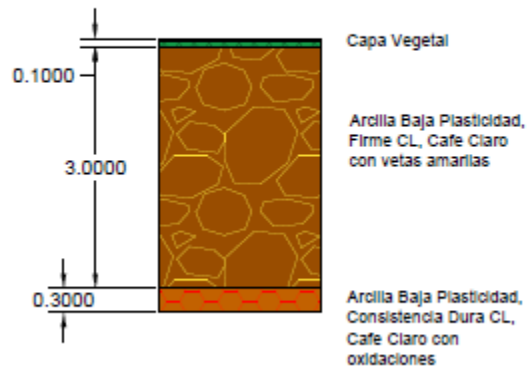


Figura 61. Perfil estratigráfico sondeo No 2. Fuente. Propia

Sondeo N°3

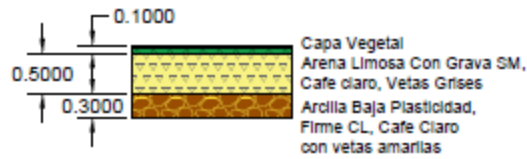


Figura 62. Perfil estratigráfico sondeo No 3. Fuente. Propia

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE DISEÑO

Con base en los resultados anteriormente encontrados, se buscó reproducir las condiciones que llevaron a la falla a la ladera, esto se logró mediante un análisis numérico. Como primer paso se modeló con base en la topografía de la ladera, un perfil topográfico que represente la ladera antes de que ocurriera el deslizamiento.

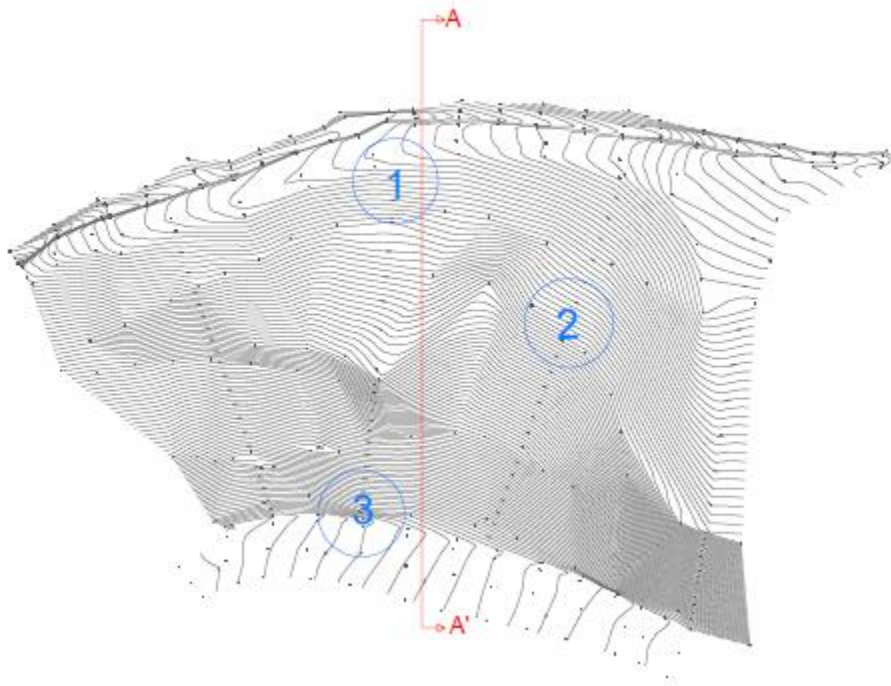


Figura 63. Corte realizado en plano topográfico de la ladera. Fuente: Propia

Se realizó un corte de manera transversal, de modo que atravesara aproximadamente la mitad de la ladera. Después de realizado este corte se obtuvo el perfil de la ladera.

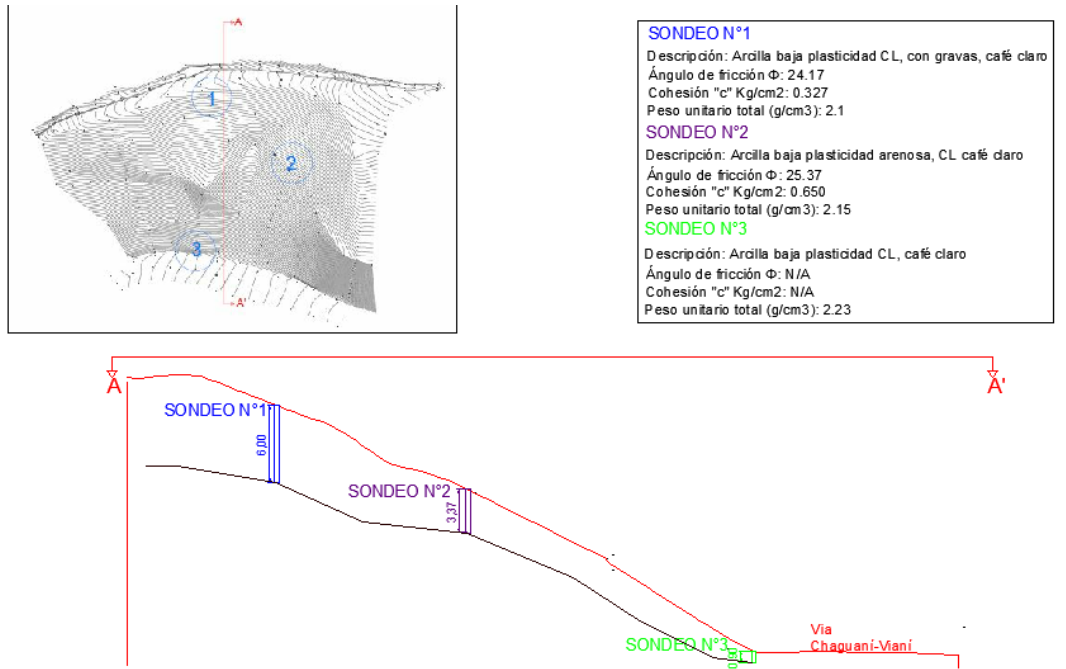


Figura 64. Corte transversal de la ladera. Fuente: Propia

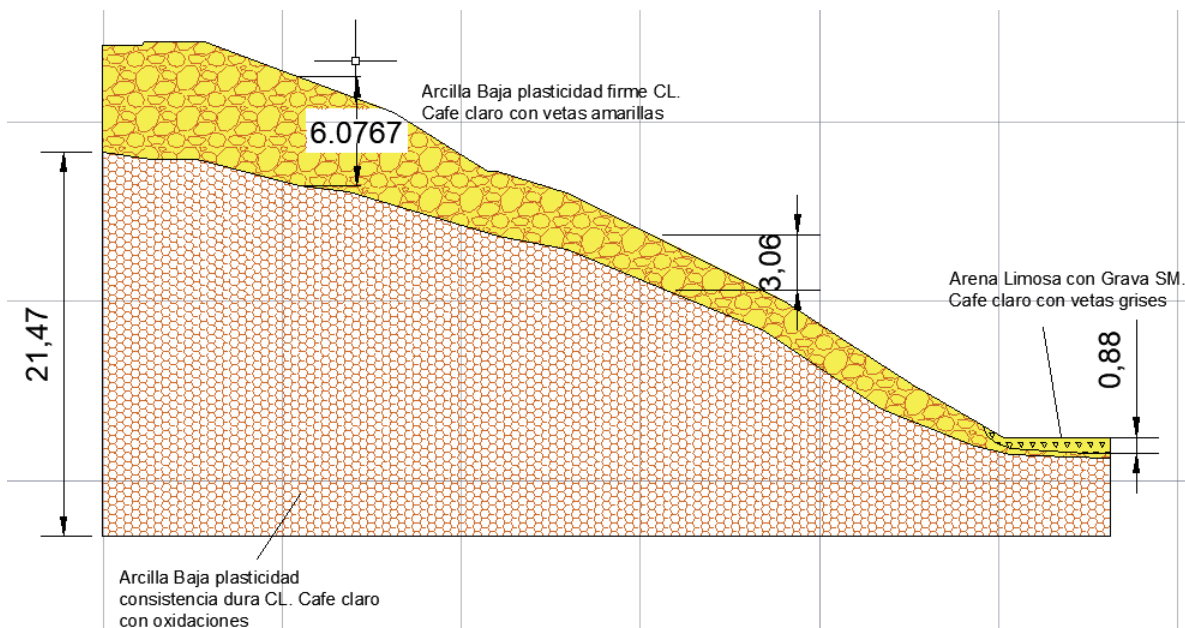


Figura 65. Perfil estratigráfico de la ladera. Fuente: Propia

Cabe resaltar que este perfil obtenido corresponde al perfil de la ladera antes de que ocurriera el deslizamiento. Después de modelado este perfil, se procedió a realizar la importación de este al software Slide V6.0 Rocscience, en donde se asignaron los parámetros geo mecánicos como el Peso Unitario “ γ ”, Cohesión “ c ” y Angulo de fricción “ Φ ”. Estos datos fueron tomados de los resultados de los laboratorios que se hicieron a las muestras obtenidas en el ensayo de SPT

Además de esto, debido a que el factor detonante que causa el deslizamiento en la ladera es el agua, se asignó un análisis sensibilizado del nivel freático. Este análisis se realiza fijando un mínimo nivel freático y un nivel máximo. El nivel máximo simboliza la saturación máxima de suelo que representa las épocas de lluvia y el nivel mínimo representa temporadas de verano en donde el suelo generalmente se encuentra seco. Este análisis nos permite variar la posición del nivel freático desde un 0% (Nivel Mínimo) hasta un 100 % (Nivel máximo), con el fin de poder replicar la situación que detona el deslizamiento. Como el factor detonante en este caso es el agua, por esta razón se dejó el nivel freático medio (W mean) en un 97%

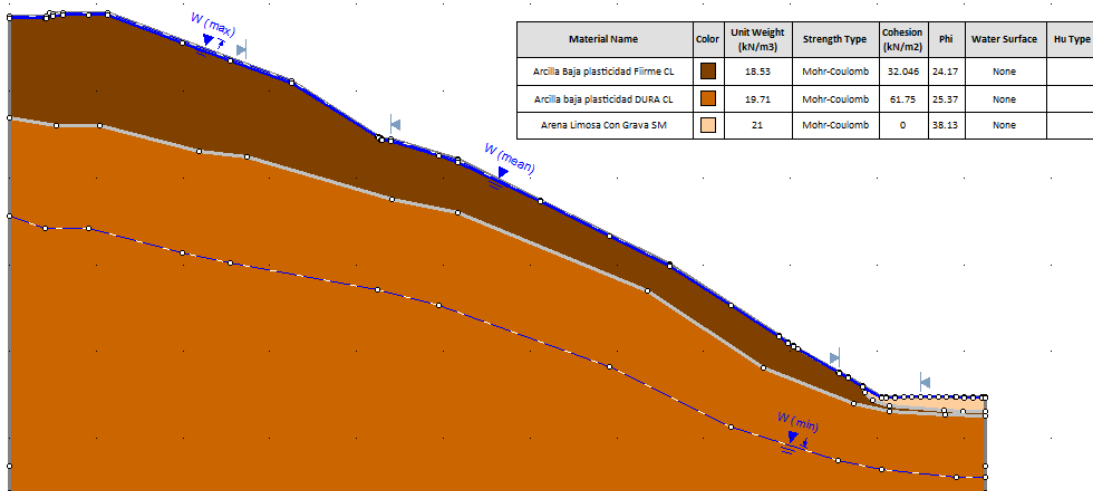


Figura 66. Perfil en Software Slidet. Fuente: Propia

Después de tener todos los parámetros asignados en el programa, se calcularon todas las superficies de falla que se pudieran generar en la ladera, con el fin de seleccionar una que reproduzca fielmente el proceso de inestabilidad que generó en campo. Posterior a seleccionar la superficie de falla, se procede a realizar un retro análisis.

El retro análisis o comúnmente llamado “Back Analysis” es utilizado para estimar la resistencia “in situ” del suelo y realizar la caracterización geomecánica de los materiales involucrados, factores influyentes en la rotura y comportamiento mecánico de los materiales del talud. (Sanhueza Plaza, C, & Rodríguez Cifuentes, L. 2013). El objetivo principal del retro análisis es que a partir de los datos del terreno tales como Peso unitario, Cohesión y Angulo de fricción, se generen las condiciones reales en que el deslizamiento tuvo lugar; Asumiendo de esta manera un factor de seguridad igual a 1.0. Por ende, con el fin de encontrar un factor de seguridad con un valor de 1.0 el cual representa la condición de falla, se realizó la variación de los parámetros de resistencia de los estratos (Cohesión y fricción), con el fin de obtener el valor de 1.0. Después de realizada la variación de los parámetros, se calculó de nuevo el retro análisis. Cabe resaltar que el software Slide V.60 ofrece varios métodos para ejecutar el cálculo del retro análisis. En este caso se realizó el retro análisis por el método de Spencer, debido a que es el método más riguroso y por ende más confiable. El retro análisis arrojó un valor exacto de 1.0064 o aproximadamente 1.002.




Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Water Surface	Hu Type
Arcilla Baja plasticidad Firme CL		17.53	Mohr-Coulomb	10.51	18.1	Water Surface	Constant
Arcilla baja plasticidad DURA CL		19.71	Mohr-Coulomb	18.2	20.1	Water Surface	Constant
Arena Limosa Con Grava SM		21	Mohr-Coulomb	0	38.13	Water Surface	Constant

Tabla 18. Tabla de parámetros después de la variación. Fuente: Propia

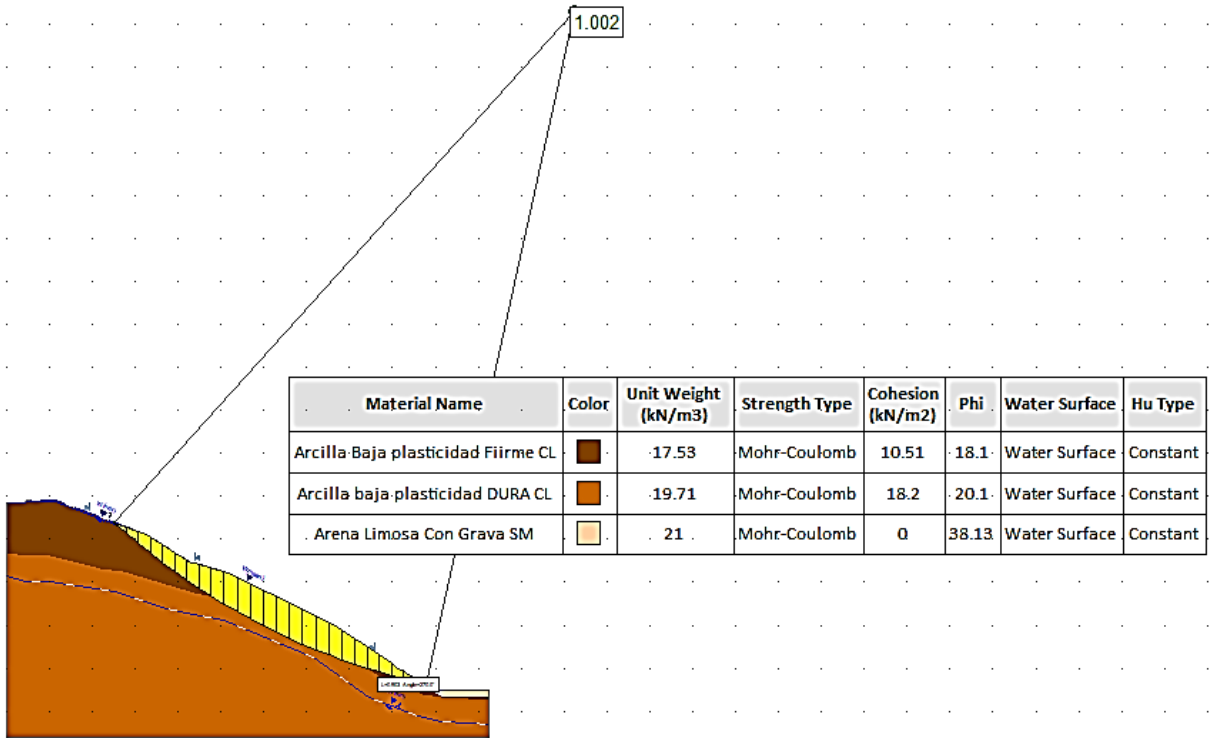


Figura 67. Retroanálisis Método de Spencer. Fuente: Propia

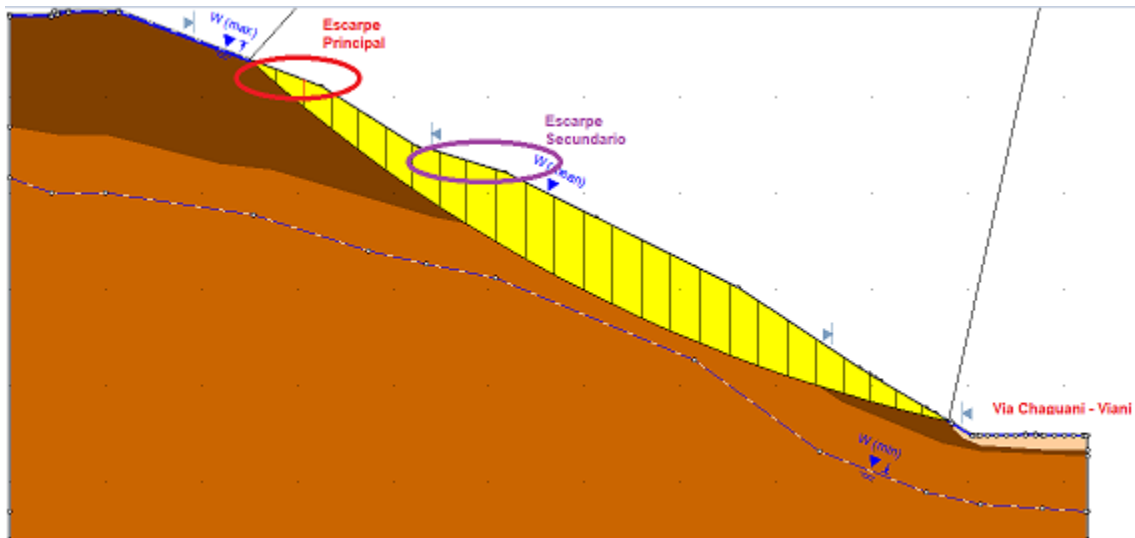


Figura 68. Ubicación escarpe principal y secundario. Fuente: Propia

OBRAS DE CONTENCIÓN PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA LADERA

Con el objetivo de realizar la estabilización de la ladera y de esta forma parar con el problema que está afectando al municipio, se tuvieron en cuenta varios métodos de contención para taludes, como anclajes, pilotes y muros de contención. Pero, buscando una alternativa más económica, fácil de diseñar y que a su vez sea amigable con el ambiente, se decidió optar por las obras de Bioingeniería.

OBRAS DE BIOINGENIERÍA

Las obras de Bioingeniería son *“Una disciplina constructiva que persigue objetivos técnicos, ecológicos, estéticos y económicos utilizando materiales vivos como plantas, semillas y comunidades vegetales”* (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2018). Además, la bioingeniería logra captar y disminuir la velocidad de las aguas de escorrentía e infiltración. De esta forma evitando procesos erosivos y la saturación de los terrenos. Los cuales son responsables de la generación de movimientos en masa.

SELECCIÓN DE OBRAS DE BIOINGENIERÍA

La selección de la obra de contención se guío con base en los criterios y parámetros dados en el *“Manual de procedimientos para el manejo de procesos denudativos con obras de Bioingeniería”* dado por la CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca).



Figura 69. Manual de procedimientos para el manejo de procesos denudativos con obras de Bioingeniería. Fuente:

CAR

El manual recomienda que, para suelos arcillosos y lodosos, el método recomendado son trinchos vivos escalonados de ladera, cuya altura máxima no debe sobrepasar los 0.85m, para impedir la erosión que se causa por la escorrentía.



Figura 70. Trinchos escalonados para el control de la erosión en arcillas. Fuente: CAR

TRINCHOS VIVOS ESCALONADOS

Los trinchos de ladera tienen por objeto, reconfigurar la ladera que se encuentra afectada por procesos erosivos y movimientos en masa. Cabe resaltar que estos trinchos se realizan con trozos de bambú o guadua.

La altura de los escalones o terrazas depende de la textura fina o gruesa de los materiales, donde se van a implementar variando entre alturas máximas de sus bordes libres.

- 0.4 m para materiales gruesos y franco arenosos
- 0.8 m para materiales finos y franco lodosos arcillosos

Las obras inician con la excavación de una zanja de aproximadamente 0.45m a 0.75m de profundidad, esta excavación se debe realizar a lo largo de la dirección de la ladera. Después de realizada la excavación se procede a enterrar entre 5 a 8 guaduas.



Figura 71. Zanja excavada para la colocación de las guaduas. Fuente: CAR

Posteriormente, se excavan perforaciones de 0.10m a 0.15m de diámetro y con una profundidad entre 1.5m a 2.5m, esto con el fin de encontrar un material resistente al barreno con que se hace la perforación. En la excavación previamente realizada, se procede a enterrar los postes de guadua, la distancia entre los postes de guadua varía entre los 0.6m y 0.8m. Consecutivamente de esto, se instalan las guaduas horizontales, desde la profundidad alcanzada en la excavación de la zanja hasta alcanzar el borde libre (Dependiendo de la textura del suelo).



Figura 72. Parales de soporte para las guaduas horizontales. Fuente: CAR

PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LA GUADUA

Las propiedades mecánicas y físicas de la guadua dependen del tipo de hábitat donde estas hallan crecido, la procedencia, la madurez de la planta y la humedad. Se ha determinado en investigaciones que la guadua tiene una gran resistencia, altos módulos de elasticidad y altos valores a la tracción y a la compresión paralelos a la fibra (García, M, 2018). Posee una baja resistencia y bajos módulos de elasticidad en la dirección perpendicular a la fibra, esto se debe que su comportamiento mecánico está relacionado con su forma (García, M, 2018).

En Colombia se ha investigado muchas propiedades mecánicas de la guadua, una de ellas ha sido el módulo de elasticidad longitudinal, según un estudio realizado por (Takeuchi & González, 2007), el módulo de elasticidad longitudinal es de 17.9 GPa; Mientras que otros estudios han presentado valores entre 8.0 y 17.0 MPa. La resistencia a la compresión ha sido estudiada en plantas cultivadas en Quindío y en Manizales y el valor de la resistencia a la compresión es de 56 MPa (Ghavami & Marinho, 2005).

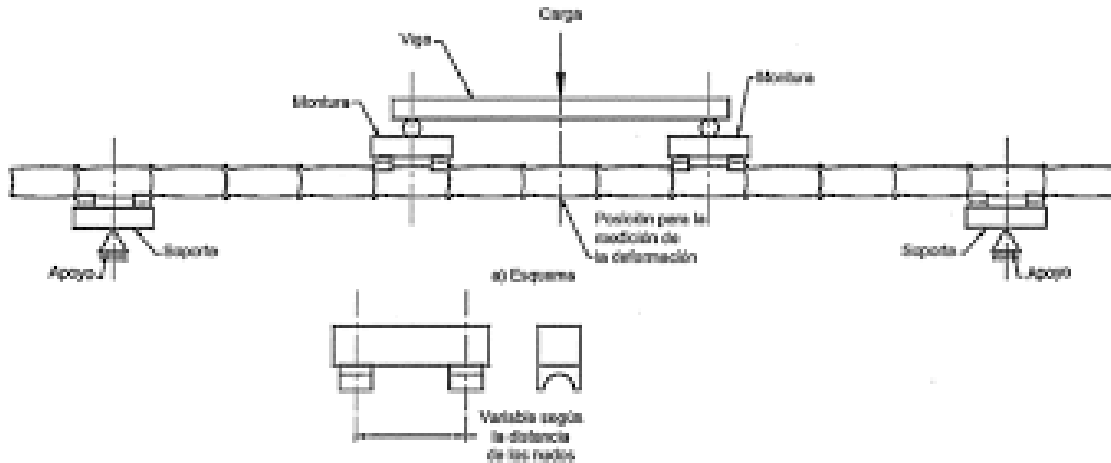


Figura 73. Ensayo de flexión aplicado a la guadua. Fuente: NTC 5525

La resistencia a la flexión de la guadua en promedio esta entre 122 MPa y 88 MPa, pero depende de la humedad relativa del ambiente en donde esta se encuentre, pero este rango oscila entre un 65% y 85% (Gonzales B., Montoya Arango & Bedoya Sánchez, 2007).

Finalmente, la propiedad mecánica más importante para el estudio y modelado en el software SLIDE V6.0, es la resistencia al corte. Este valor, se logra encontrar con base en la resistencia que posee la guadua paralela a sus fibras. En Colombia se realizó el estudio para especímenes con nudo y sin nudo ubicados en diferentes zonas del país, en donde se obtuvieron los siguientes valores (Pantoja & Acuña, 2005):

Especímenes con Nudo

- Armenia (Quindío): 7.1 MPa
- Tierra Adentro (Tierradentro, Cauca): 5.1 MPa
- Silvania (Cundinamarca): 7.7 Mpa

Especímenes sin Nudo

- Armenia (Quindío): 7.2 MPa
- Tierra Adentro (Cauca): 6.9 MPa
- Silvania (Cundinamarca): 7.5 MPa

PREDISEÑO DE OBRA DE CONTENCIÓN

ANÁLISIS DE CARGA LATERAL

Con el objetivo de conocer y seleccionar la longitud correcta de los pilotes para que contenga la fuerza del movimiento de tierra, se generó un análisis de carga lateral. Como primer paso, se exportaron los datos del software Slide. Como se observa en la figura 74, el modelo del software genera unas dovelas por toda la superficie de falla. Estas dovelas contienen la información de los valores de empuje que llevan el sentido del deslizamiento y la información de la fuerza contraria que trata de resistir al deslizamiento.

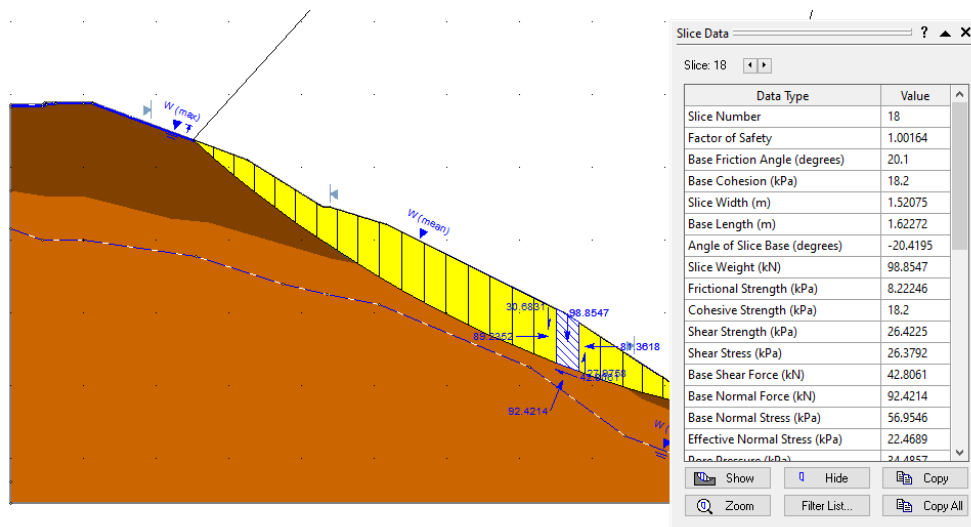


Figura 74. Dovelas generadas en superficie de falla. Fuente: Propia

Frente a este modelo, se realiza un ubicación supuesta de donde se ubicarán los pilotes y se toma la información de las dovelas que quedan por detrás de la ubicación de este. Después de exportados los datos a Excel, se saca la componente horizontal de cada fuerza. Esta componente horizontal se consiguió multiplicando la fuerza por el Seno y Coseno del Angulo de la dovela. Después de esto se realizó la sumatoria de ambas fuerzas (En sentido al deslizamiento y en resistencia al deslizamiento).

<i>Slice Number</i>	<i>Base Shear Force kN</i>	<i>Th</i>	<i>Base Normal Force kN</i>	<i>Nh</i>
1	18,5802	13,92811703	1,37943	0,912998894
2	19,8144	15,15556755	18,911	12,18203181
3	20,8355	16,23983283	34,2257	21,44199675
4	21,4752	17,03678275	41,4674	25,24536137
5	21,7522	17,54510909	45,6991	27,01324853
6	21,9458	17,97929736	48,7592	27,95966866
7	22,6286	18,81249152	55,2679	30,71434274
8	23,7956	20,05766175	68,526	36,87022043
9	40,6106	34,69518738	83,3433	43,31496672
10	42,2004	36,5286706	94,6509	47,39510545
11	42,986	37,6688828	98,8404	47,61687702
12	43,4903	38,55310394	101,479	46,96191494
13	43,8523	39,29731213	102,998	45,70988632
14	44,0739	39,89927875	103,439	43,94218697
15	44,1477	40,34868082	102,833	41,73296298
16	44,0706	40,63933211	101,209	39,15296449
17	43,8055	40,73371296	98,4402	36,21333296
18	42,8061	40,11630604	92,4214	32,2449966
19	41,1118	38,81002796	80,8934	26,68765761
20	39,0965	37,15859347	68,03	21,15258422
21	21,7225	20,77014616	49,9227	14,61989715
22	20,3762	19,58663509	39,0229	10,75767476
23	19,008	18,36193993	27,8447	7,197866192
24	17,6682	17,14600167	17,7718	4,288792841
	Σ	677,0686717	Σ	691,3295364

Tabla 18. Sumatoria de datos de dovelas. Fuente: Propia

Por último, para encontrar la fuerza que genera el deslizamiento se realizó la resta de estas fuerzas y el resultado equivale a la fuerza generada por el deslizamiento.

Empuje Final: 27,8447	Nh-Th 197866192	
Empuje Final	14,26	Kn/m

Figura 75. Empuje final obtenido por Slide. Fuente: Propia

Después de encontrado este valor, se debe encontrar la longitud del pilote correcta que sea capaz de contener este deslizamiento. Para ello, se realizó el cálculo de capacidad lateral por el método de Broms. Este método primeramente nos define 4 tipos de pilotes:

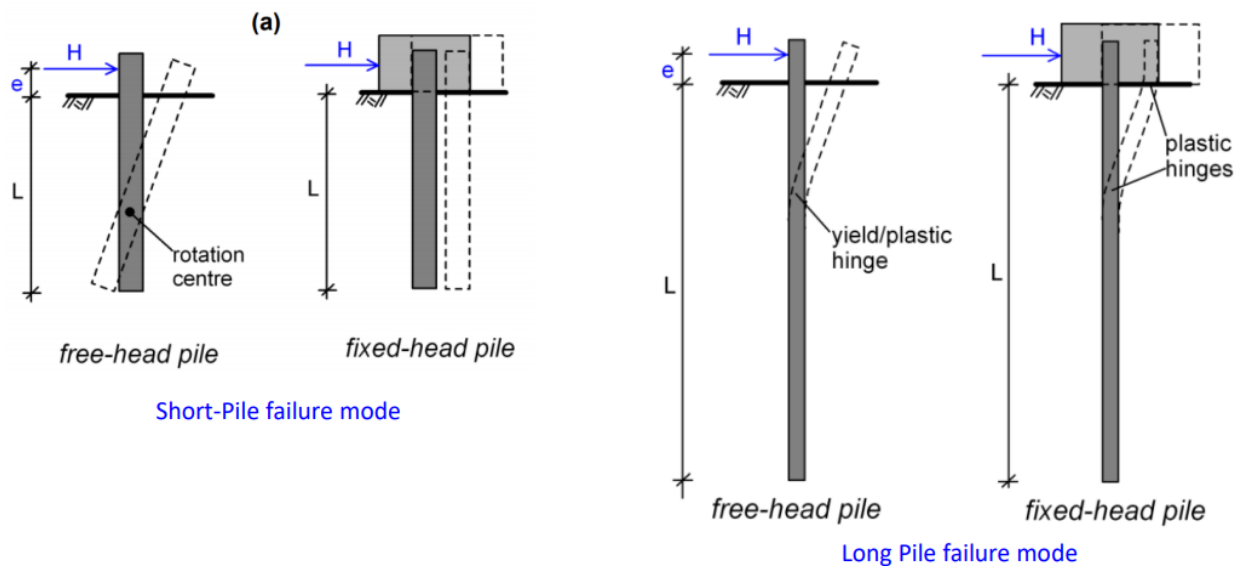


Figura 76. Tipos de pilotes método de Broms. Fuente: Broms,1964

- Pilote Corto con Cabezal Restringido
- Pilote Corto con Cabezal Libre
- Pilote Largo con Cabezal Restringido
- Pilote Largo con Cabezal Libre

Para poder clasificar el tipo de pilote largo o corto, se calculó su longitud característica por medio de la ecuación de Vesic (Figura 77). En donde con base en el resultado según la recomendación de Broms se define si el tipo de pilote es largo o corto.

$$\text{Arcillas: } T = \sqrt[4]{\frac{E_p I_p}{\kappa}}$$

$$k = 0.65^{12} \sqrt{\frac{E_s D^4}{E_p I_p}} \frac{E_s}{1 - \mu_s^2}$$

Donde
 T : Longitud característica sistema suelo pilote
 E_p : Módulo elasticidad pilote
 I_p : Momento de inercia del pilote
 n_h : coeficiente de reacción horizontal
 κ : Módulo reacción horizontal

Figura 77. Longitud Característica Pilotes. Fuente: Vesic, 1977

$$L \geq 5T; \text{ Pilote Largo}$$

$$L \leq 2T; \text{ Pilote corto}$$

Figura 78. Recomendación de Broms. Fuente: Broms. 1964

La recomendación de Broms dice que si la longitud del pilote es mayor o igual a cinco veces la longitud característica será un pilote largo o si la longitud del pilote es menor o igual a dos veces la longitud característica se considera un pilote corto. En este caso, la longitud mínima del pilote corresponde al mismo valor de la excentricidad (Figura 79), debido a que el pilote quedara empotrado sobre un material firme que en este caso es una Arcilla CL de consistencia dura.

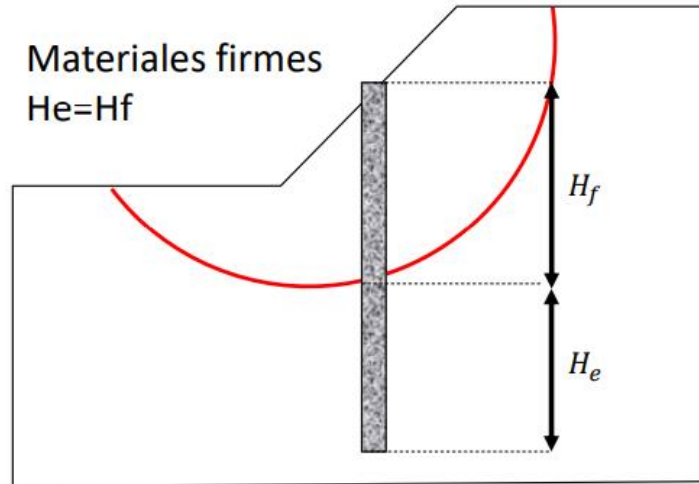


Figura 79. Longitud del pilote para materiales firmes, Fuente: Broms, 1964

Con base en lo anterior, la excentricidad o la longitud de la falla tiene una distancia de 0.595m (Figura 80), este valor se encontró midiendo la longitud la superficie de falla arrojada por el software Slide V.60

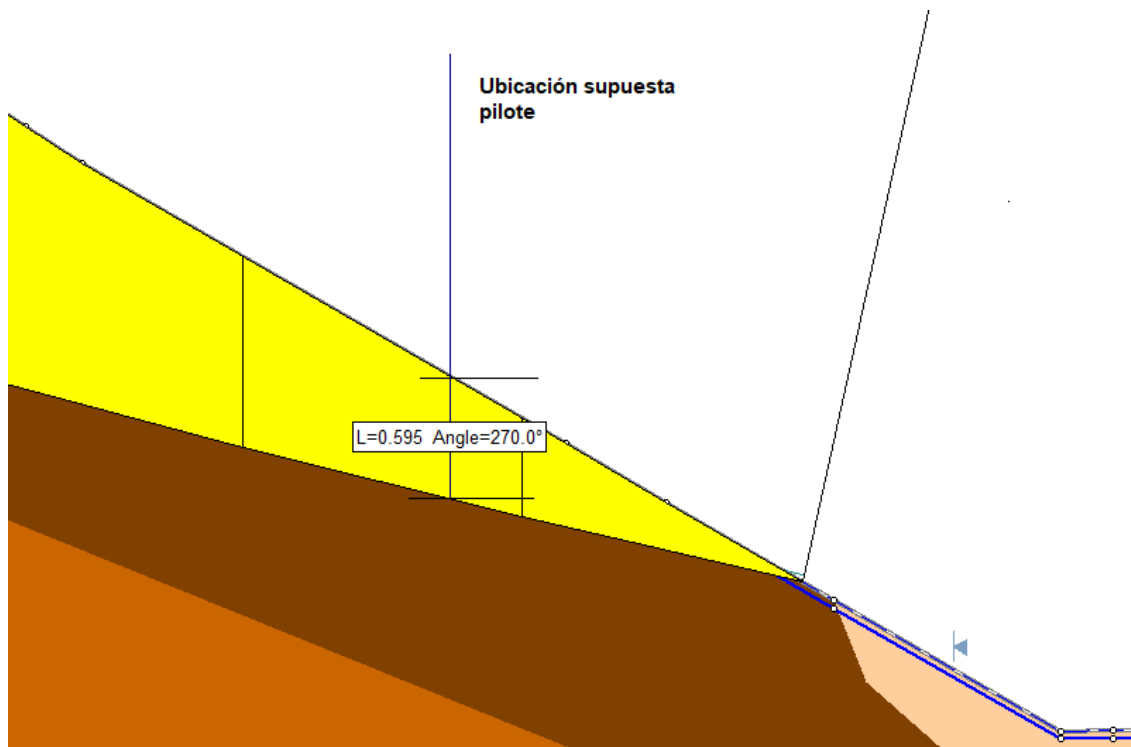


Figura 80. Longitud excentricidad de la falla. Fuente: Propia

Con el valor de la excentricidad definido se realiza el cálculo de la ecuación de Vesic para encontrar la longitud característica de este, para ello se define un valor de Modulo de Elasticidad de la guadua de 17000 Kn/m², una relación de Poisson de 0.30 (Gonzales, B., Montoya, J., & Bedoya, J. 2007) y además se calcula el valor de la inercia de la guadua,

<i>Ep (Kn/m²)</i>	17000
<i>Radio Ext (m)</i>	0,05
<i>Radio Int (m)</i>	0,04
<i>Ip (m⁴)</i>	0,0000049
<i>Diametro (m)</i>	0,10
<i>Es (Kn/m²)</i>	10000
<i>v (Relación Poisson)</i>	0,30
<i>k</i>	8785,24

Figura 81. Datos para ecuación de Vesic. Fuente: Propia

Después de definidos todos estos parámetros, se calcula la longitud característica la cual arroja un valor de 0.06m. Por lo que según la recomendación de Broms, el pilote corresponde a un Pilote Largo debido a que la longitud es mayor a cinco veces la longitud característica.

<i>T</i>	0,06
<i>Longitud</i>	0,595
<i>L ≥ 5T</i>	0,28
<i>L ≤ 2T</i>	0,11

Figura 82. Longitud Característica. Fuente: Propia

Además de las 4 clasificaciones dadas por Broms, el análisis de carga lateral se divide para condiciones drenadas o no drenadas. Para este caso corresponde una condición no drenada, debido a que según los resultados obtenidos en el ensayo de SPT ambos estratos de suelos son arcillas con un alto valor de cohesión. Por ende, para el cálculo de este análisis de carga lateral, el caso que

corresponde, con base en las recomendaciones de Broms es “Pilote Largo-Cabezal Libre-Condición no Drenada”.

Condición no drenada – pilotes largo–cabezal libre

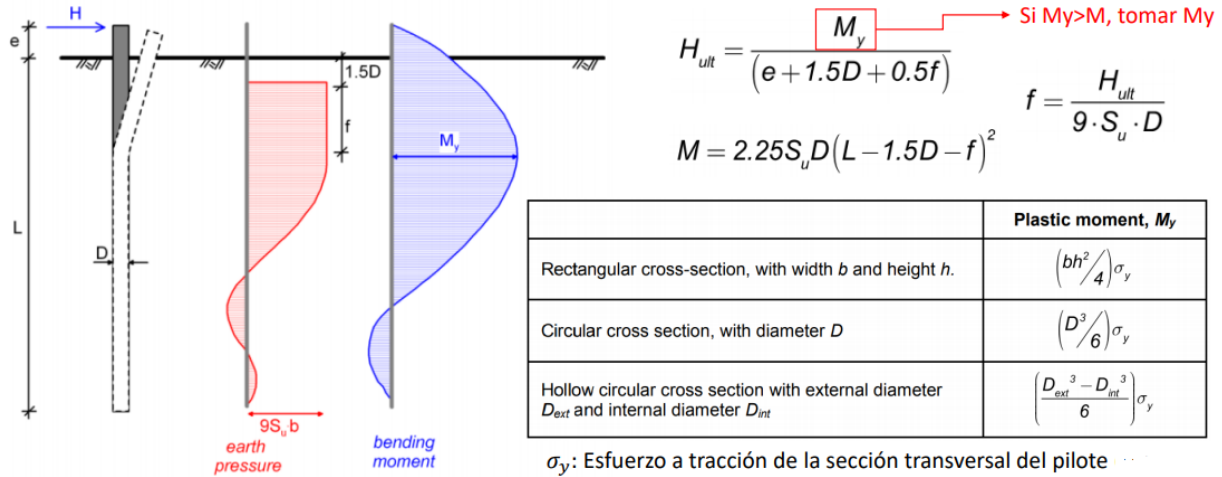


Figura 83. Condición para el análisis de carga lateral. Fuente: Broms, 1964

La figura 83 muestra las ecuaciones dadas para el análisis de carga lateral con las condiciones anteriormente nombradas. En donde, resolviendo cada una de ellas y planteando varias longitudes se encuentra el valor del “Hult” requerido. Este “Hultm” corresponde al mismo valor encontrado con los datos exportados anteriormente del software Slide V6.0. Cabe resaltar que, al momento de comparar ambos valores, se selecciona el valor mayor por motivos de seguridad.

Como se observa en la tabla 20, la longitud que arroja un valor por encima y que se encuentra cerca al valor calculado por el software es una longitud de 3.1 metros. Con base en lo anterior, la longitud total del pilote estará definida por la suma de la longitud anteriormente encontrada y la excentricidad, dando así un valor de longitud definitiva del pilote de 3.7 metros.

Profundidad	Estrato	Espesor	Cu	Φ	f	My	Largo Libre	
		(m)	(kpa)	(Grados)	Libre		Hult	Mmax
1	CL Consistencia Firme	3	10,51	18,1	1,508	0,027	0,682	1,02
1,2	CL Consistencia dura	7	18,2	20,1	0,871	0,027	0,112	0,13
1,4	CL Consistencia dura	7	18,2	20,1	0,871	0,027	0,499	0,59
1,6	CL Consistencia dura	7	18,2	20,1	0,871	0,027	1,165	1,37
1,8	CL Consistencia dura	7	18,2	20,1	0,871	0,027	2,108	2,49
2	CL Consistencia dura	7	18,2	20,1	0,871	0,027	3,328	3,93
3	CL Consistencia dura	7	18,2	20,1	0,871	0,027	13,594	16,04
3,1	CL Consistencia dura	7	18,2	20,1	0,871	0,027	15,002	17,71
3,2	CL Consistencia dura	7	18,2	20,1	0,871	0,027	16,480	19,45
3,25	CL Consistencia dura	7	18,2	20,1	0,871	0,027	17,245	20,35
3,5	CL Consistencia dura	7	18,2	20,1	0,871	0,027	21,329	25,17
4	CL Consistencia dura	7	18,2	20,1	0,871	0,027	30,799	36,35
5	CL Consistencia dura	7	18,2	20,1	0,871	0,027	54,942	64,85
6	CL Consistencia dura	7	18,2	20,1	0,871	0,027	86,025	101,53
7	CL Consistencia dura	7	18,2	20,1	0,871	0,027	124,047	146,41
8	CL Consistencia dura	7	18,2	20,1	0,871	0,027	169,007	199,48

Tabla 19. Análisis de Carga Lateral. Fuente: Propia

ANÁLISIS SISMICO

Antes de proceder a realizar el prediseño y cálculo de la obra de contención, se realizó un análisis sísmico con base en la NSR-10 (Norma Sismo Resistente Colombiana). Esto con el fin de encontrar un valor de Kst (Coeficiente Sísmico de Diseño), el cual nos permite realizar un análisis seudoestático de la ladera.

Lo primero para encontrar el valor de Kst, es conocer el valor de la aceleración máxima del terreno, esta es una aceleración máxima para un periodo cero. En la figura 74, se representa la fórmula para poder obtener dicho valor, en donde se tiene que:

- Aa: Coeficiente de aceleración horizontal
- Fa: Coeficiente de amplificación en periodos cortos
- I: Coeficiente de importancia.

$$a_{max} = A_a \cdot F_a \cdot I$$

Figura 84. Ecuación para hallar aceleración máxima. Fuente: NSR-10

Aa (Coeficiente de aceleración horizontal)

El resultado del valor de Aa, se basó en el Apéndice A-4 de la NSR -10 “Valores de Aa, Av, Ae y Ad y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos”, en donde para el municipio de Chaguani- Cundinamarca se tiene un valor de Aa de 0.15

Municipio	Código Municipio	Aa	Av	Zona de Amenaza Sísmica	Ae	Ad
Carmen de Carupa	25154	0.15	0.15	Intermedia	0.09	0.05
Chaguani	25168	0.15	0.20	Intermedia	0.16	0.06
Chía	25175	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05

Tabla 20. Valor de Aa para el municipio de Chaguani-Cundinamarca. Fuente: NSR-10

Fa (Coeficiente de amplificación en periodos cortos)

Para encontrar el valor de Fa, se debe saber el valor de Aa y el tipo de perfil al que el suelo corresponde. En este caso el suelo corresponde a un perfil tipo D. La selección de este perfil se realizó con base en el número de golpes realizados en la perforaciones SPT.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{v}_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$, o $\bar{s}_u \geq 100$ kPa (≈ 1 kgf/cm ²)
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$, o $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u \geq 50 \text{ kPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180 \text{ m/s} > \bar{v}_s$
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: F₁ — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F₂ — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F₃ — Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con Índice de Plasticidad IP > 75) F₄ — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m)	

Tabla 21. Tabla A.2.4-1, Clasificación de los suelos. Fuente: NSR-10

Con la selección del perfil y el valor de A_a , se obtuvo el valor de F_a con base en la figura A.2.4-1 de la NSR-10 Título A. En donde se obtuvo un valor de 1.5 para F_a

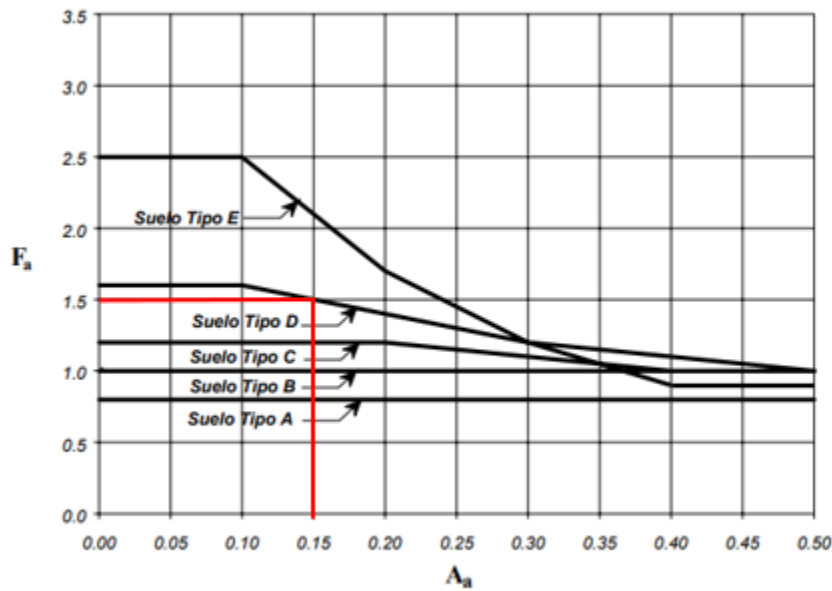


Figura A.2.4-1 - Coeficiente de amplificación F_a del suelo para la zona de periodos cortos del espectro

Figura 85. Coeficiente de amplificación Fa. Fuente: NSR-10

I (Coeficiente de Importancia)

El coeficiente de importancia se define con base en los grupos de uso, para el presente caso corresponde a un grupo de uso I, por ende, el coeficiente de importancia posee un valor de 1.0.

Tabla A.2.5-1
Valores del coeficiente de importancia, I

Grupo de Uso	Coeficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

Tabla 22. Valores del coeficiente de importancia. Fuente: NSR-10

Resolviendo la ecuación mostrada en la figura 74, logramos encontrar el valor de la aceleración máxima, en donde se tiene que:

$$a_{max} = 0.15 * 1.5 * 1.0 = 0.225$$

Después de obtenido este valor, se procede a calcular el valor de K_{st} , el cual se logró encontrar despejando la ecuación dada en la tabla H.5.2-1 de la NSR-10.

$$\frac{K_{st}}{a_{max}} = k \rightarrow K_{st} = k * a_{max}$$

Figura 86. Ecuación para encontrar K_{st} . Fuente: NSR-10

Tabla H.5.2-1
Valores de K_{ST}/a_{max} Mínimos para Análisis Seudoestático de Taludes

Material	K_{ST}/a_{max} Mínimo	Análisis de Amplificación Mínimo
Suelos, enrocados y macizos rocosos muy fracturados (RQD < 50%)	0.80	Ninguno
Macizos rocosos (RQD > 50%)	1.00	Ninguno
Todos los materiales térreos	0.67	Amplificación de onda unidimensional en dos columnas y promediar
Todos los materiales térreos	0.50	Amplificación de onda bidimensional

Tabla 23. Valores de K_{st}/a_{max} Mínimos para el análisis seudoestático de Taludes. Fuente: NSR-10

Debido a que no se poseen análisis de amplificación mínimos del suelo, se selecciona un valor de K_{st}/a_{max} igual a 0.80, el cual corresponde a suelos, enrocados y macizos rocosos muy fracturados (RQD<50%). Resolviendo la ecuación mostrada en la figura 76, obtenemos un valor de K_{st} de 0.18.

OBRAS DE CONTENCIÓN EN SOFTWARE SLIDE

Después de realizado el análisis de carga lateral y el análisis sísmico, se procedió a implantar la obra de contención en el software Slide V.6. Al definir un nuevo soporte en el programa, este nos pide lo siguiente:

- Separación entre pilotes
- Valor del esfuerzo cortante del material del pilote

SEPARACIÓN ENTRE PILOTES

La separación entre pilotes se definió siguiendo las recomendaciones dadas por el “Manual de procedimientos para el manejo de procesos denudativos con obras de Bioingeniería” dado por la CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca). En donde dice que, para la

implementación de trinchos vivos escalonados en ladera, la separación entre guaduas verticales es 0.60m a 0.80m. En donde se seleccionó un valor de 0.80m para el caso en cuestión.

VALOR DEL ESFUERZO CORTANTE DEL MATERIAL DEL PILOTE

Para encontrar el esfuerzo cortante del material del pilote, se calculó con base en el esfuerzo perpendicular a la fibra. Este valor se seleccionó fundamentado en la literatura encontrada, la cual se muestra en el título “Propiedades Físicas y Mecánicas de la Guadua” del presente documento.

El espécimen seleccionado fue la guadua con nudo ubicado en Sylvania- Cundinamarca, debido a que este espécimen estudiado se encuentra en el mismo departamento que el presente proyecto. Por ende, el valor que se tomó para realizar el cálculo es de 7.5 MPa. Entonces, el valor del esfuerzo cortante se obtiene del producto de la sección transversal de la guadua entre el esfuerzo perpendicular a la fibra.

Para el cálculo de la sección transversal se definió una guadua con un valor de 10 cm de diámetro, esto debido a que las guaduas encontradas en la región oscilan entre los 10cm y 12cm de diámetro.

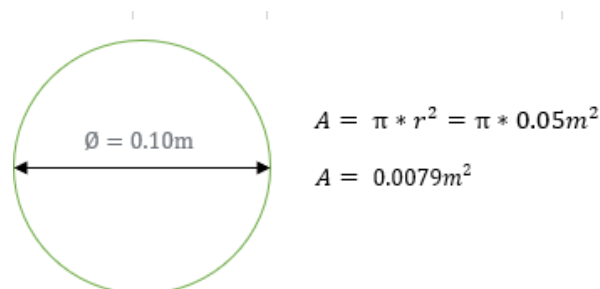


Figura 87. Área de la sección transversal. Fuente: Propia

Por último se multiplica el valor de la sección transversal por el esfuerzo perpendicular a la fibra y se obtiene un esfuerzo cortante de 58.90 Kn

Diametro Guadua	0,1	m
Esfuerzo cortante a la fibra	7,5	Mpa
Sección Transversal	0,0079	m2
Esfuerzo cortante a la fibra	7500	Kn/m2
Esfuerzo Cortante	58,90	Kn

Tabla 24. Esfuerzo Cortante. Fuente: Propia

Hallados los valores anteriormente mencionados, se insertan en el software

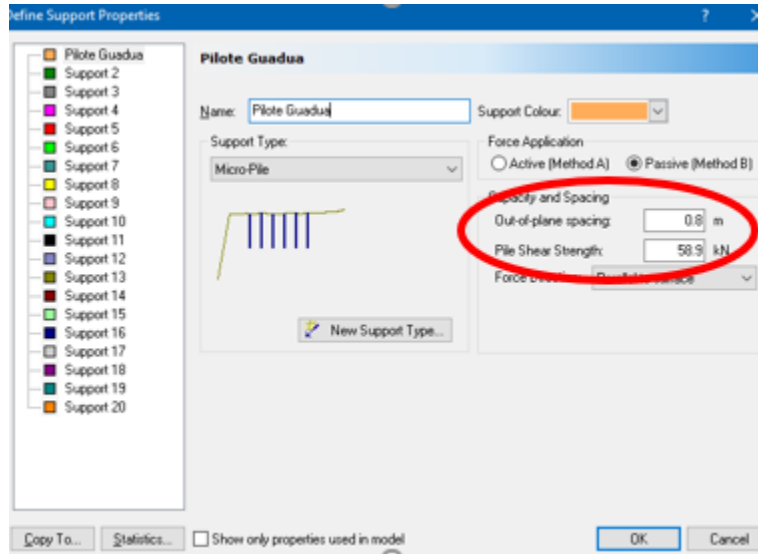


Figura 88. Valores del pilote de guadua en Slide. Fuente: Propia

IMPLEMENTACIÓN DE PILOTES

La implementación de los pilotes se realizó teniendo en cuenta el análisis de carga lateral anteriormente realizado. Además de esto, se realizó siguiendo las recomendaciones de el “Manual de procedimientos para el manejo de procesos denudativos con obras de Bioingeniería” en donde se debe dejar un borde libre dependiendo del tipo de suelo. Debido a que el suelo de la zona de estudio corresponde a un suelos arcilloso, se deja un borde libre de aproximadamente 0.60m.

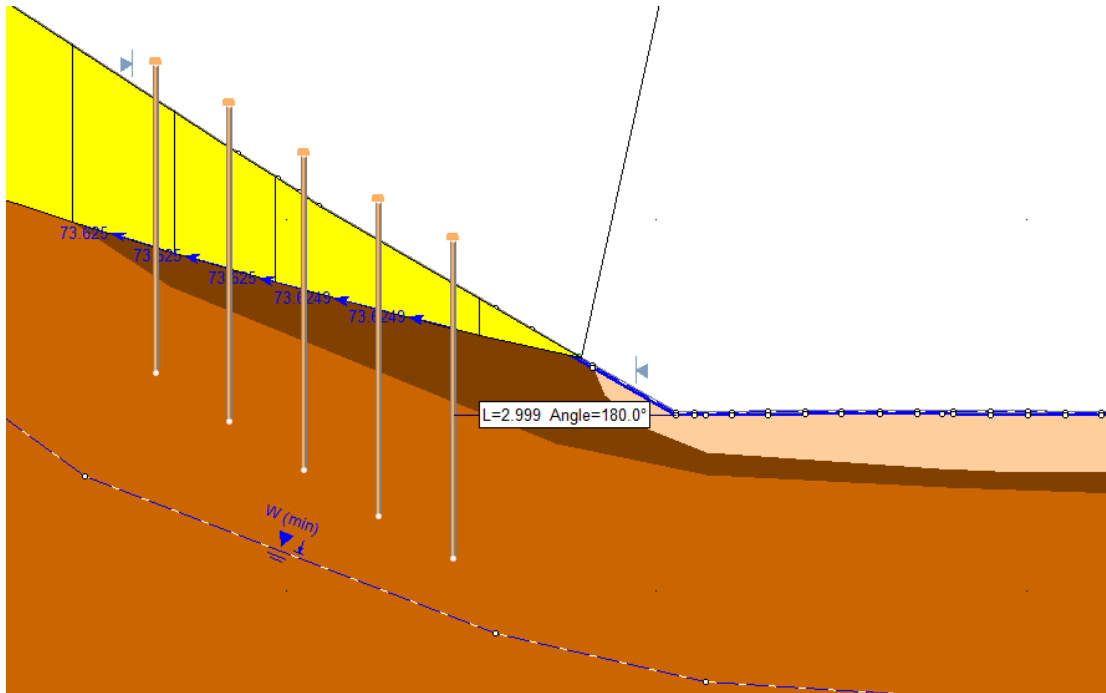


Figura 89. Pilotes implementados en el software. Fuente: Propia

La ubicación de los pilotes se hizo en la parte baja de la ladera, ubicando el primer el pilote a 3m de la vía, esto con el objetivo de que al momento de ejecutar el proyecto sea de fácil acceso.

Implementando un total de 4 filas de pilotes, se deja una distancia entre terrazas de un metro, siguiendo así las recomendaciones dadas por el manual de la CAR.

ANÁLISIS SEUDOESTÁTICO

El análisis seudoestático permite predecir el comportamiento de estabilidad física del talud frente a un evento sísmico, por esta razón al implementar los pilotes en el software Slide, también se incluye un valor de una carga sísmica, la cual corresponde al valor de K_{st} anteriormente hallado.

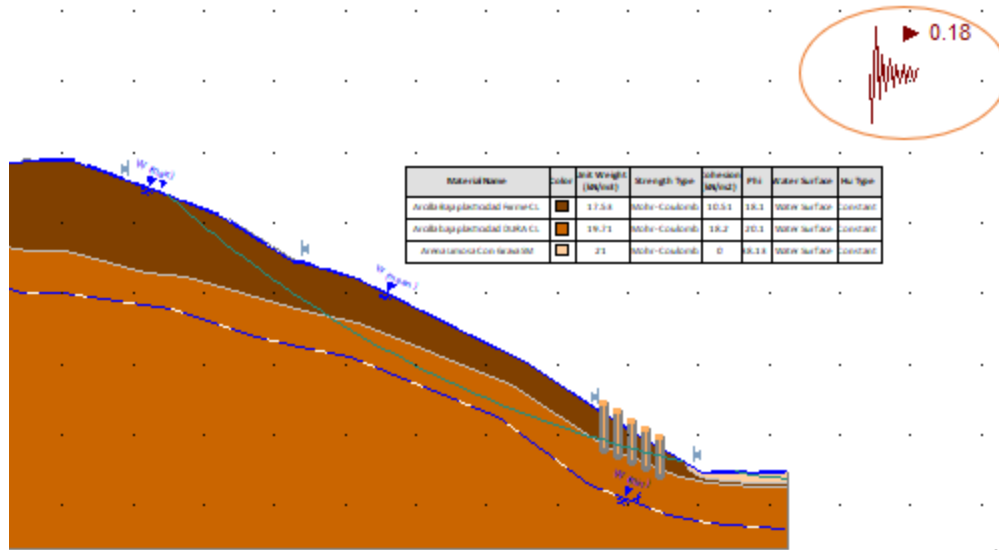


Figura 90. Carga sísmica en el modelo. Fuente: Propia

Este análisis se hace con el fin de hallar un factor de seguridad que cumpla con los requisitos impuestos por la NSR-10. La cual genera unos factores de seguridad básicos mínimos directos para una condición pseudoestática.

Tabla H.2.4-1
Factores de Seguridad Básicos Mínimos Directos

Condición	F_{SBM}		F_{SBUM}	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1.25	1.10	1.40	1.15
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1.10	1.00 (*)	No se permite	No se permite
Taludes – Condición Estática y Agua Subterránea Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Taludes – Condición Seudo-estática con Agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño	1.05	1.00 (*)	No se permite	No se permite

Tabla 25. Factores de Seguridad Básicos (Condición Seudoestática) Mínimos Directos. Fuente: NSR-10

La norma exige que el valor mínimo de factor de seguridad en una condición pseudoestática para el diseño es de 1.05 y en el momento de construcción es de 1.00. Teniendo en cuenta esto, se procede

a calcular en el software Slide V6.0 el valor del factor de seguridad con base en la ubicación de las 4 filas de pilotes de guaduas. Cabe resaltar que se seleccionó como método de cálculo el método de Spencer, debido a que este método es más riguroso y por ende el más confiable.

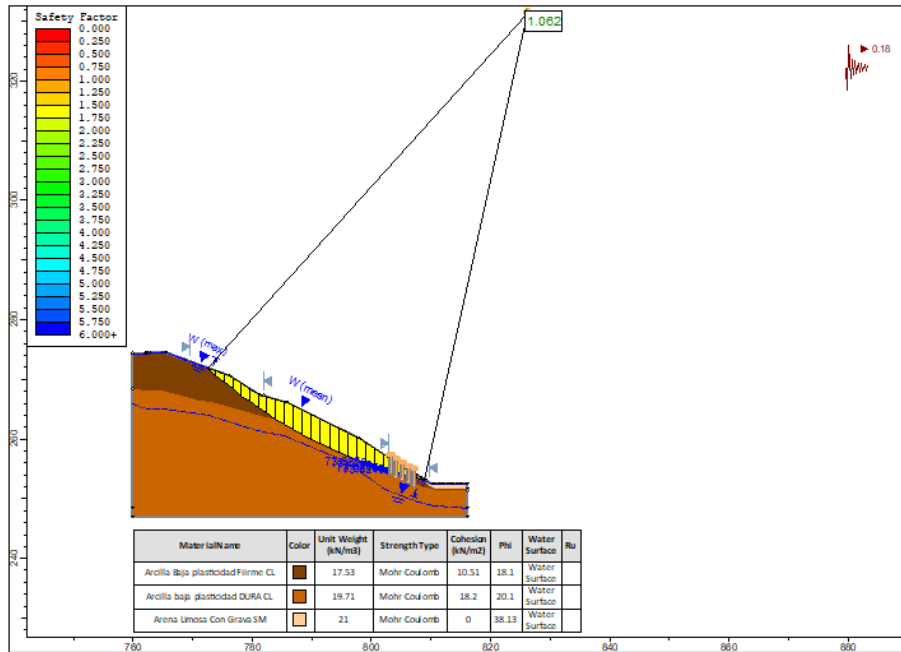


Figura 91. Resultado Análisis Seudoestatico en Slide. Fuente: Propia

ANALISIS ESTATICO

A comparación del análisis seudoestatico anteriormente realizado el cual tenía en cuenta una carga sísmica, este análisis estático solo tiene en cuenta una condición de nivel freático, que en este caso se encuentra a un nivel del 97%. Este análisis se hace con el fin de hallar un factor de seguridad que cumpla con los requisitos impuestos por la NSR-10. La cual genera unos factores de seguridad básicos mínimos directos para una condición estática.

Condición	F_{SBM}		F_{SBUM}	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1.25	1.10	1.40	1.15
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1.10	1.00 (*)	No se permite	No se permite
Taludes – Condición Estática y Agua Subterránea Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Taludes – Condición Seudo-estática con Agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño	1.05	1.00 (*)	No se permite	No se permite

Tabla 26. Factores de Seguridad Básicos (Condición Estática) Mínimos Directos. Fuente: NSR-10

La norma exige que el valor mínimo de factor de seguridad en una condición estática para el diseño es de 1.50 y en el momento de construcción es de 1.25. Teniendo en cuenta esto, se procede a calcular en el software Slide V6.0 el valor del factor de seguridad con base en la ubicación de las 4 filas de pilotes de guaduas. Cabe resaltar que como el método anterior se seleccionó como método de cálculo el método de Spencer, debido a que este método es más riguroso y por ende el más confiable.

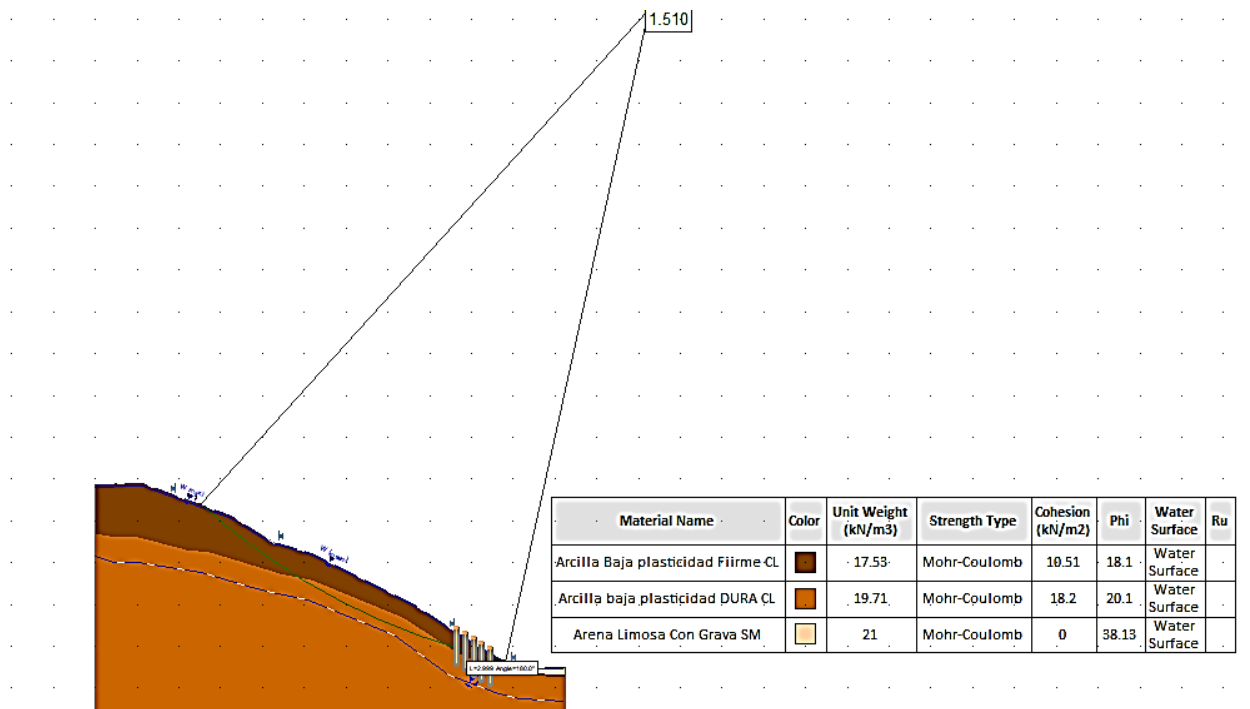


Figura 92. Resultado Análisis Estático en Slide, Fuente: Propia

UBICACIÓN GENERAL DE LOS TRINCHOS

Para generar un panorama de como seria la ubicación real de los trinchos sobre la ladera, se realizó la ubicación de ellos sobre la topografía de la ladera y sobre el perfil generado por el corte transversal de la topografía. Cabe resaltar de nuevo que la guadua planteada para el proyecto es una guadua que crece en la zona o en sus alrededores. Esta guadua es un espécimen con nudo y con un diámetro aproximado de 0.10m.

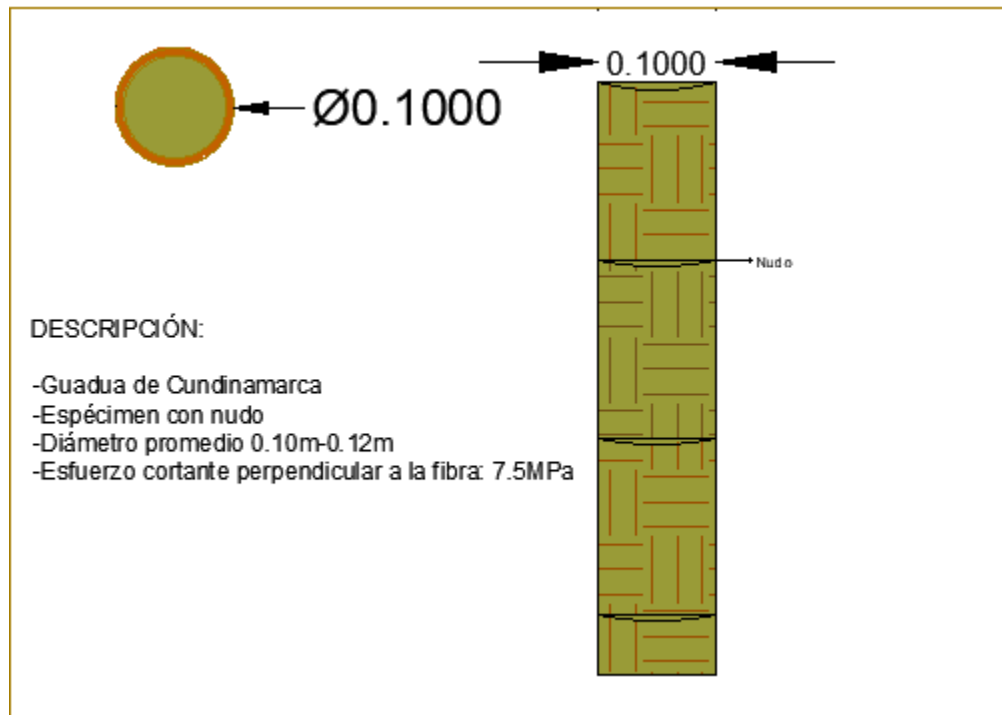


Figura 93. Características de la guadua para el proyecto. Fuente: Propia

Después de definido el tipo de guadua a usar, se genera su implementación en el corte transversal de la topografía. Además de esto, entre las filas de trinchos se generan unas terrazas de 1 metro de

longitud, en las cuales se hará un proceso de revegetalización, que tendrá como función principal aumentar la resistencia del suelo, esto se debe a que las raíces de los árboles sembrados fortalecerán el suelo.

Unidas a las guaduas verticales se instalan unas guaduas horizontales que empiezan a 0.30m de la base de la guadua vertical hasta su borde superior.

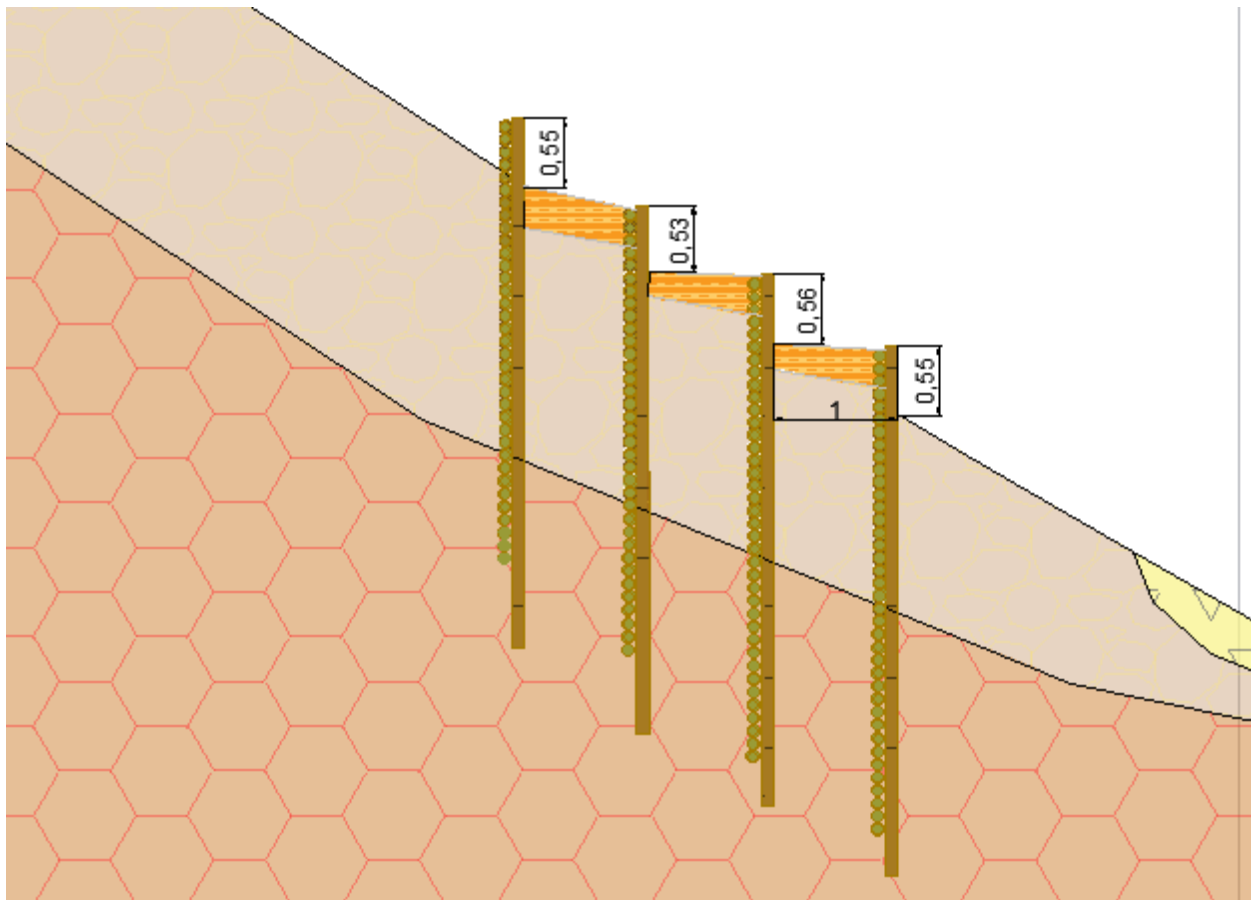


Figura 94. Trinchos ubicados en el perfil topográfico. Fuente: Propia

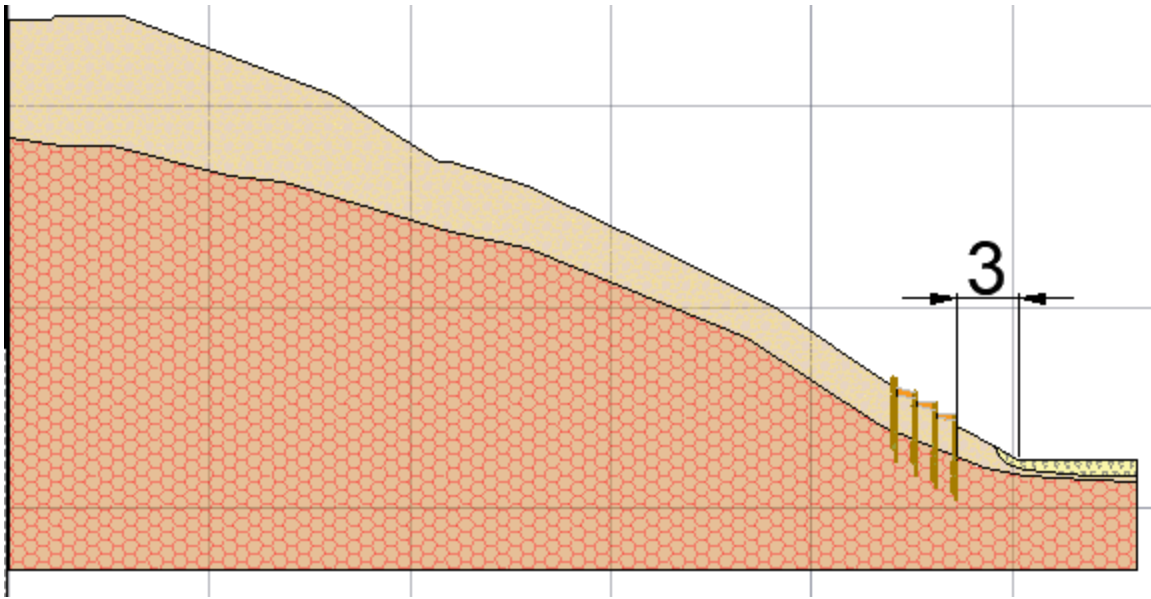


Figura 95. Trinchos ubicados en el perfil topográfico. Fuente: Propia

Después de una vista en perfil, se generó la implementación de los trinchos en una vista en planta de toda la topografía, cabe resaltar que la recomendación dada por el manual es que las filas de trinchos deben ir por todo el sentido de la ladera.

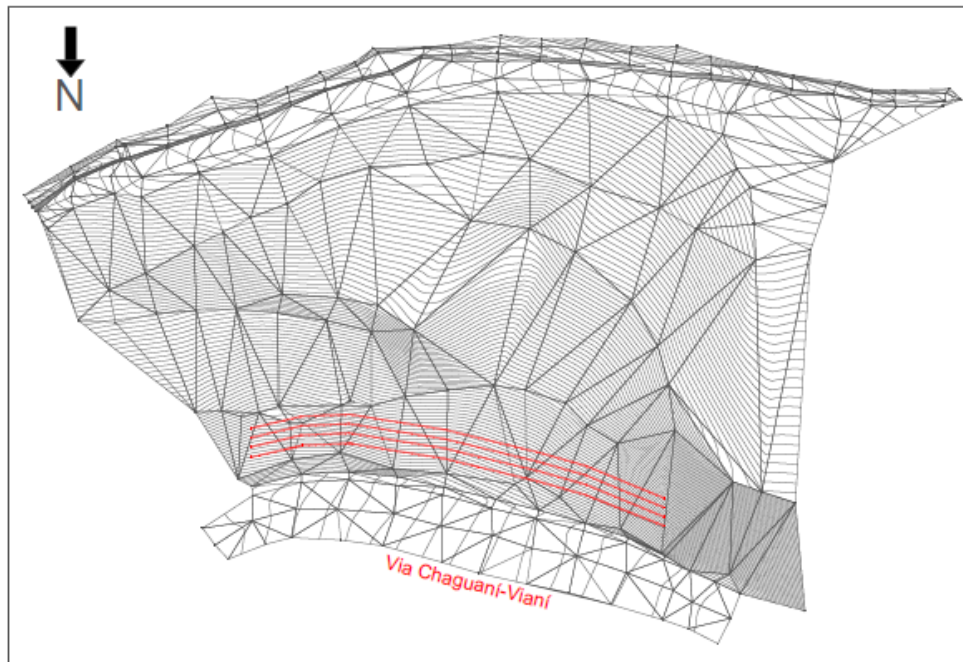


Figura 96. Vista en planta ubicación de trinchos. Fuente: Propia

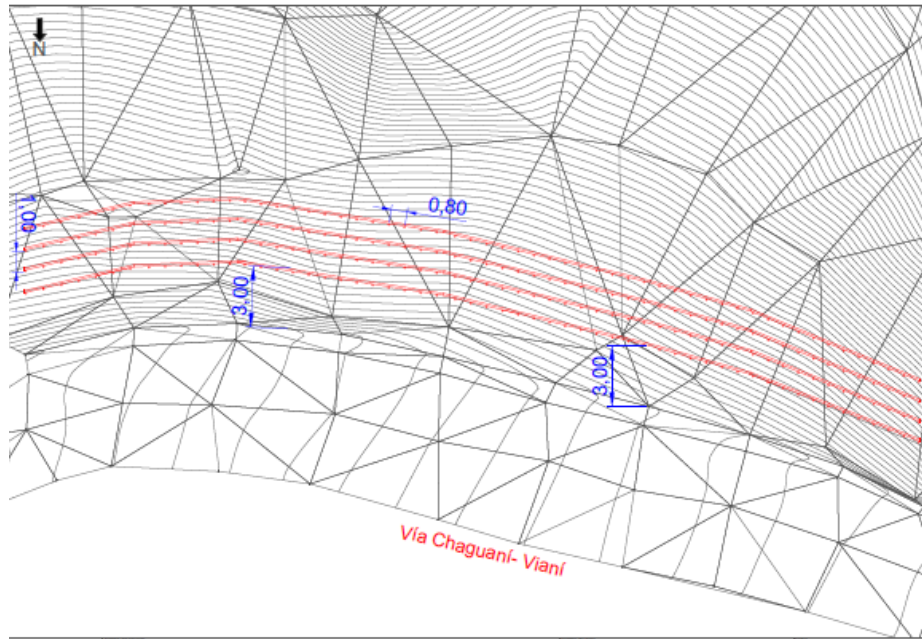


Figura 97. Vista en planta N°2 ubicación de trinchos. Fuente: Propia

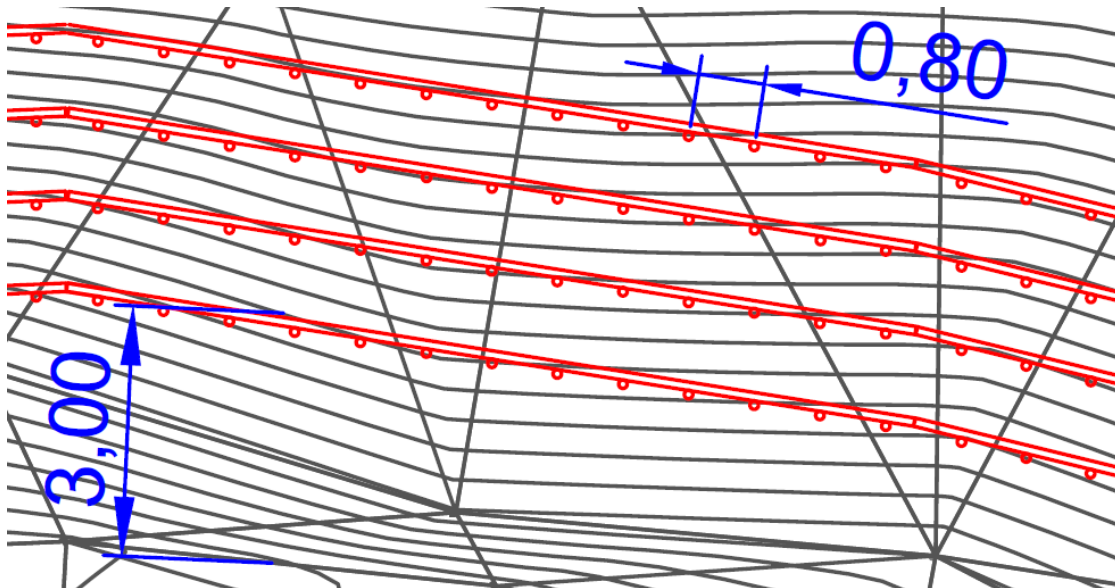


Figura 98. Vista en planta N°3 ubicación de trinchos. Fuente: Propia

UBICACIÓN GEOGRAFICA TRINCHOS

Después de ubicadas y diseñadas las 4 filas de trinchos, se genera su ubicación exacta del inicio y fin de cada fila. Cada una de estas coordenadas se generaron en dos formatos, WGS84 y el formato MAGNA-SIRGAS, el cual es el único datum oficial de Colombia.

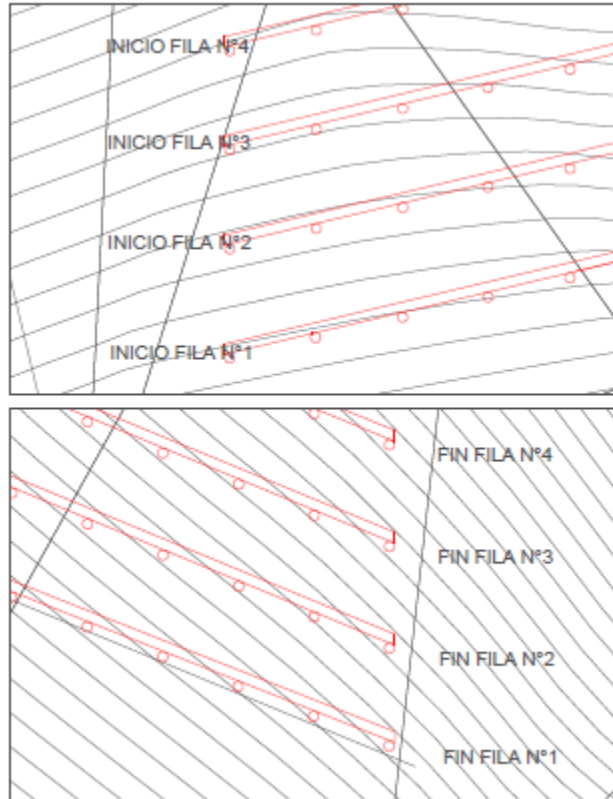


Figura 99. Inicio de filas de trinchos. Fuente: Propia

Fila Trinchos N°	COORDENADAS WGS84			
	INICIO		FIN	
	<i>N</i>	<i>E</i>	<i>N</i>	<i>E</i>
1	4,93396	-74,59371	4,93398	-74,59405
2	4,93395	-74,59371	4,93397	-74,59406
3	4,93394	-74,5937	4,93396	-74,59406
4	4,93393	-74,5937	4,93395	-74,59407

Fila Trinchos N°	COORDENADAS MAGNA SIRGAS			
	INICIO		FIN	
	<i>N</i>	<i>E</i>	<i>N</i>	<i>E</i>
1	2103406,973	4823360,848	2103409,274	4823323,160
2	2103405,868	4823360,846	2103408,171	4823322,049
3	2103404,76	4823361,952	2103407,066	4823322,046
4	2103403,655	4823361,952	2103405,963	4823320,935

Figura 100. Coordenadas del inicio y fin de filas de trinchos. Fuente: Propia

CONCLUSIONES

- Después de realizada la visita de campo, se concluye que el factor detonante que origina los deslizamientos en la ladera es la lluvia y afloramiento de agua que se origina en el predio. Deslizamientos que se producen en las épocas de mayor precipitación en el municipio como son los meses de Abril y Octubre. Por esta razón para el diseño de la estructura y cálculo en el software Slide V6.0 se definió un nivel freático a un nivel del 97%, con el fin de representar este factor detonante.
- La ladera ubicada en el acceso suroccidental del puente Las Sardinas, según su levantamiento topográfico se considera como un terreno montañoso, debido a que su pendiente posee un valor de 52.36% de inclinación.
- Los resultados de laboratorio con base en las perforaciones SPT, demuestran que en la zona de estudio se encuentran 2 (dos) tipos de estratos, arcilla de consistencia firme y

consistencia dura. Se concluye que, al momento de presentarse épocas de lluvia, la arcilla de consistencia firme se desplaza sobre la arcilla de consistencia dura, actuando esta como una especie de “patín” y generando así el desplazamiento de tierra.

- Los trinchos vivos escalonados en ladera son la mejor opción para contener los futuros deslizamientos. Visto desde el punto económico, las guaguas a utilizar son guaguas que crecen en la misma región, por lo que se disminuyen los costos en transporte; Desde el punto de vista técnico, este método de bioingeniería es fácil de ejecutar; Como se explica en el manual, no se necesita mano de obra especializada ni maquinaria pesada, por lo que se contempla este método como un método autogestionado por los mismos habitantes del municipio.
- Con base en la reglamentación dada por la NSR-10, se debe obtener un factor de seguridad de diseño mínimo de 1.05 frente a una condición pseudoestática. Las 4 filas de trinchos propuestas, según el software Slide V6.0, arrojan un factor de seguridad de 1.062, por lo que el prediseño propuesto cumple con la respectiva reglamentación.
- Con base en la reglamentación dada por la NSR-10, se debe obtener un factor de seguridad de diseño mínimo de 1.50 frente a una condición estática. Las 4 filas de trinchos propuestas, según el software Slide V6.0, arrojan un factor de seguridad de 1.52, por lo que el prediseño propuesto cumple con la respectiva reglamentación.
- Desde el punto de vista técnico, realizar este tipo de obra de bioingeniería en la zona de estudio, tendría varias ventajas a corto y a largo plazo. Esto se debe a que las guaguas que conforman los trinchos poseen la capacidad de absorber y canalizar gran cantidad de agua sin llegar a deteriorarse; A largo plazo, el proceso de revegetalización que se hace en las terrazas hará que las raíces de los árboles fortalezcan la resistencia del suelo y además

cumplen la función de absorber la mayoría que se presente en el suelo, evitando alta humedad y procesos de erosión severa en el suelo.

BIBLIOGRAFIA

- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2014). *Lineamientos para el desarrollo de estructuras con técnicas de bioingeniería como alternativa para la mitigación de riesgos* (1). Autor. Recuperado de http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/anexo_02_-_obras_de_rehabilitacioun_de_suelos_degradados_y_sistemas_de_bioingenieruia.pdf
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2013). *Manual de procedimientos para el manejo de procesos desnudas con obras de Bioingeniería* (1)., Colombia.
- E., A. (2018, 23 noviembre). Presión de Poros. Recuperado 8 de febrero de 2021, de <https://ingetec.blogspot.com/2018/11/presion-de-poros.html>
- Clima promedio en Chaguaní, Colombia, durante todo el año - Weather Spark. (s. f.). Recuperado 8 de agosto de 2021, de <https://es.weatherspark.com/y/23320/Clima-promedio-en-Chaguaní>
- Varnes, D. J., & Cruden, D. M. (1996). Landslide types and processes. *Landslides: investigation and mitigation*, Transportation Research Board special report, 247.
- Varnes, D. J. (1978). *Slope movement types and process* (1.^a ed., Vol. 2).: *Landslides Analysis and Control Special Report 176*.
- Hutchinson, J. N. (1988). General report: morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. In *International symposium on landslides*. 5 (pp. 3-35).
- G. (2018, 25 noviembre). Ensayo de penetración estándar SPT ¿Qué es y cómo se utiliza? Recuperado 8 de febrero de 2021, de <https://geotecniafacil.com/ensayo-de-penetracion-estandar-spt/>
- Matteis, A. F. (2003). *Estabilidad de Taludes* (Vol. 1). A, Argentina.

- UNAM. (2020). *Rocas Sedimentarias (Origen, evolución y procesos sedimentarios)* (1). Recuperado de <http://usuarios.geofisica.unam.mx>
- Ministerio de Ambiente. (2019). *Caracterización de las regiones para la preparación de la ENREDD+* (1). Minambiente. Recuperado de https://www.minambiente.gov.co/caracterizacion_regiones.pdf
- Cruz, L. (2016). *Apuntes Ingeniería*. Recuperado de <https://ftp.unicauca.edu.co>
- acdivoca. (2015). *Complementación especificaciones técnicas equipos geoposicionador satelital gnss/gps* (1). Recuperado de <https://www.acdivoca.org.co/especificaciones-tcnicas-gps.pdf>
- Servicio Geológico Colombiano. (s. f.). SGC. Recuperado 25 de julio de 2021, de <https://www.sgc.gov.co/>
- Villalaz, C. (1980). *mecánica de suelos y cimentaciones* (5.^a ed., Vol. 1). Monterrey, México: Noriega Editores.
- Sanhueza Plaza, C, & Rodríguez Cifuentes, L. (2013). Análisis Comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. *Revista de la construcción*, 12(1), 17-29. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2013000100003>
- W.P., & W.L.I. (1993). *A suggested method for describing the activity of a landslide* (1): *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*.
- Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (1197). *Reglamento Colombiano de construcción sismo-resistente, NSR 10 (Titulo A)*., Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- Gomez, L., & Castiblanco, C. (1989). *Proyecto Cartografía de la plancha 227-I-A Vianí-Bituima-Chaguaní* (1). Chaguaní, Colombia: INGEOMINAS.

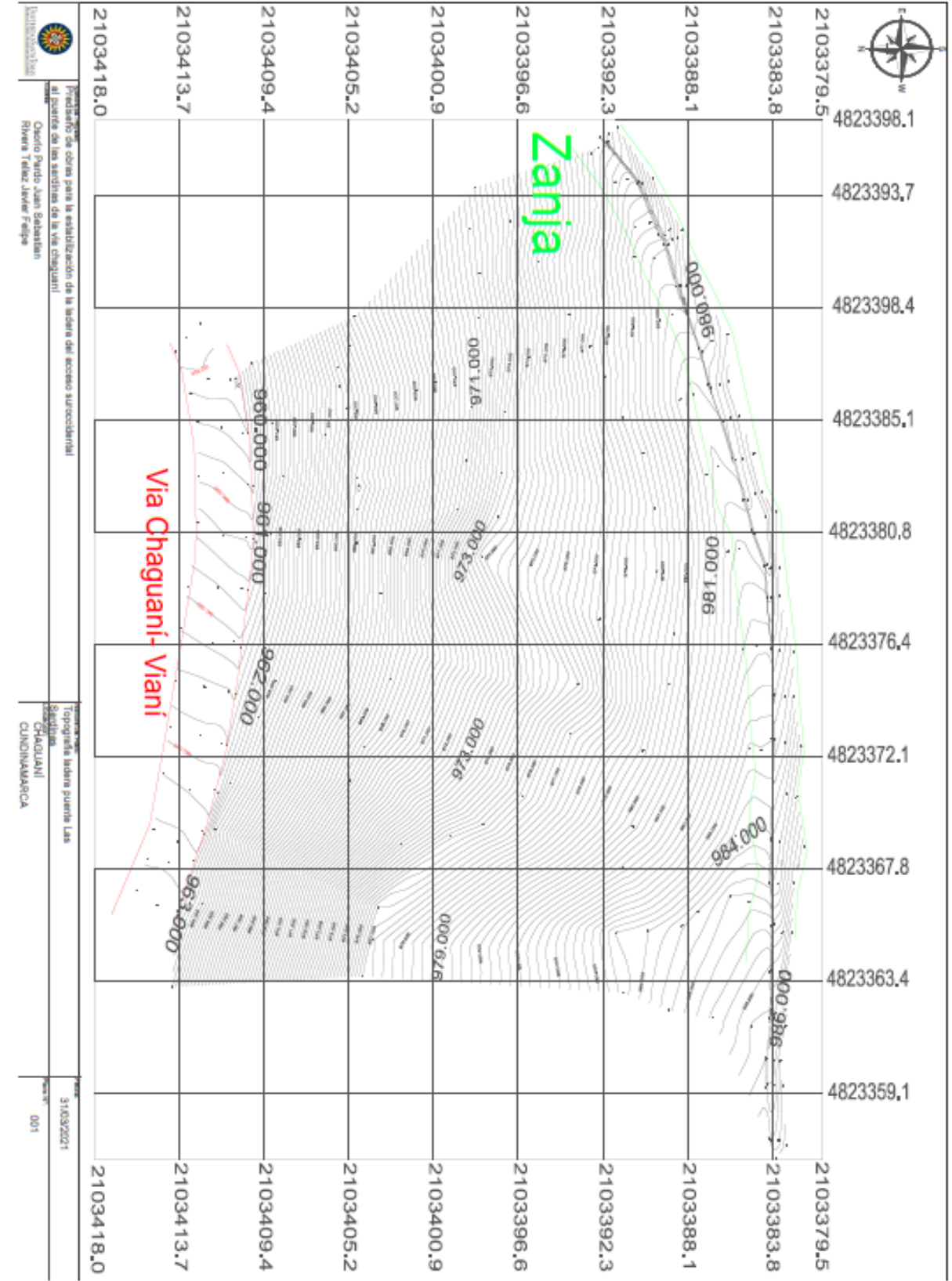
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1955). *Mecánica de Suelos en la Ingeniería Practica* (2.^a ed.).
- Instituto Nacional de Vias. (2013). *Ensayo de corte directo en condición consolidada drenada* (E-154-13). Colombia, Colombia: INVIAS.
- Suarez, J. (2001). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales* (Vol. 2). Bucaramanga, Colombia: Ingeniería de Suelos Ltda.
- Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (1997). *Reglamento Colombiano de construcción sismo-resistente, NSR 10* (Titulo H), Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- Escobar Toro, L. J., & Valencia, Y. (2011, noviembre). *Análisis de estabilidad y probabilidad de falla de dos taludes de suelo tropical en la autopista medellín – bogotá en el tramo de vía entre marinilla y santuario*. Medellin, Colombia: Universidad Nacional de Colombia
- García, M. (2018). *Caracterización de las constantes mecánicas de la guadua angustifolia kunth*. Javeriano.
- Pantoja, N., & Acuña, D. (2005). *Resistencia al corte paralelo a la fibra de la guadua angustifolia*. Universidad nacional de Colombia.
- Takeuchi, C., & Gonzáles, C. (2007). Resistencia a la compresión paralela a la fibra de la guadua angustifolia y determinación del módulo de elasticidad. *Revista ingeniería*, 11(1), 89–103.
- Gonzales, B., Montoya, J., & Bedoya, J. (2007). *Resultados del ensayo a flexión en muestras de bambú de la especie guadua angustifolia kunth*.

- Ghavami, K., & Marinho, A. (2005). Propiedades físicas e mecánicas do colmo inteiro do bambú da espécie *guadua angustifolia*. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, 9(1), 107–114.
- Broms, B. (1964). Lateral Resistance of Piles in Cohesive Soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 90(2).
- Vesic, A. (1977). Design of Pile Foundations. *National Cooperative Highway Research Program, Synthesis of Highway Practice, Transportation Research Board*. Published.


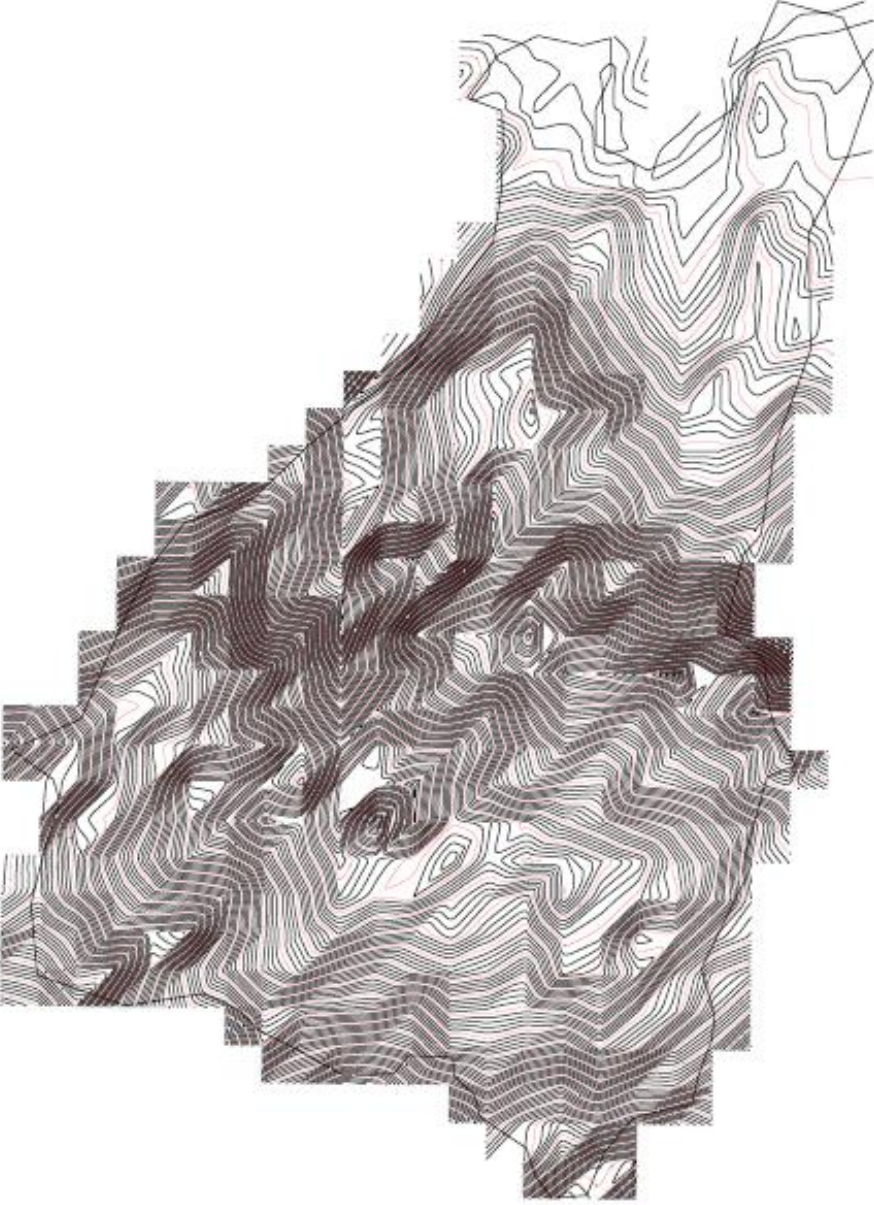
ANEXOS

A continuación, se muestran los diferentes planos generados durante la ejecución de este proyecto.

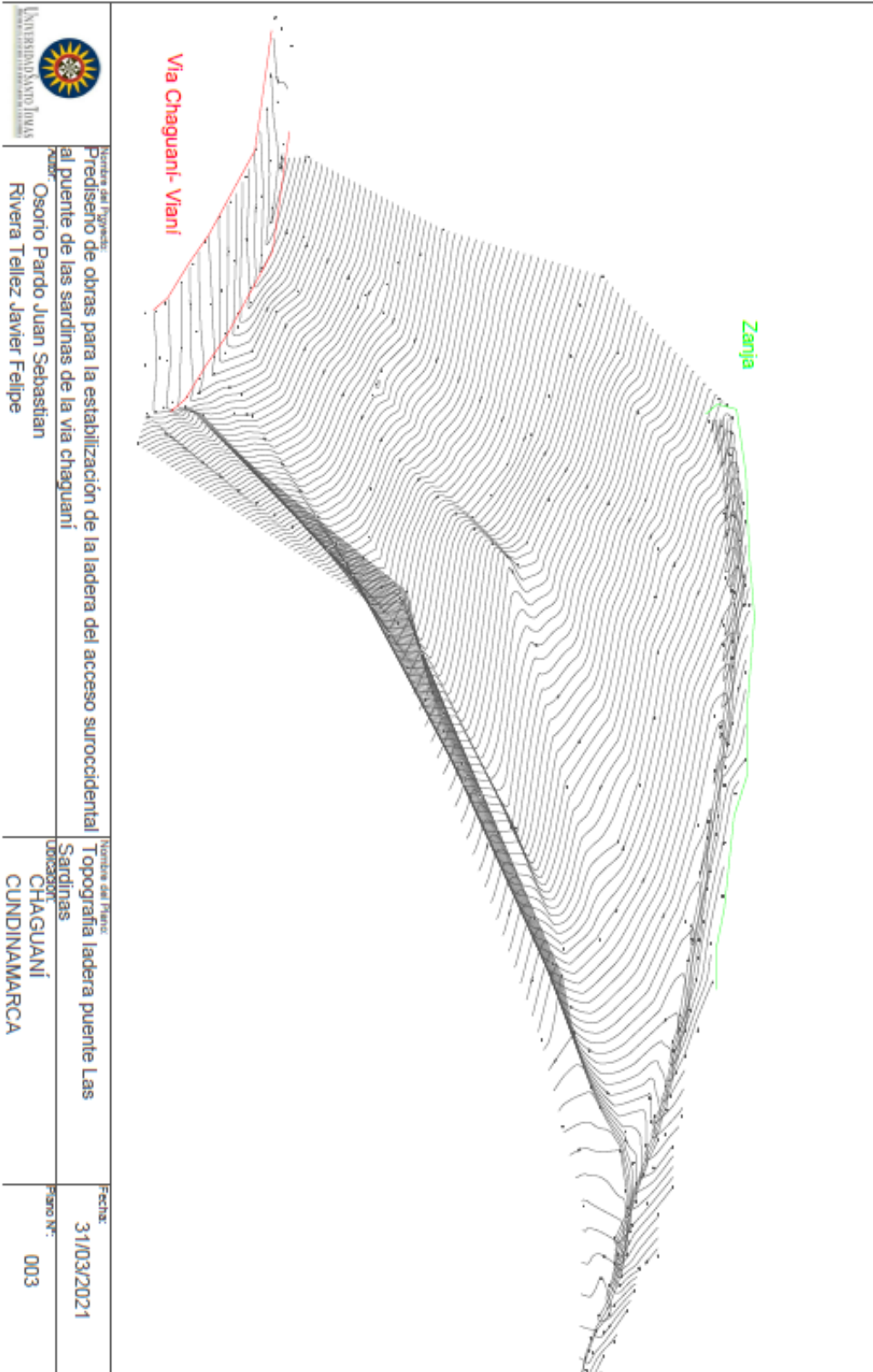
El anexo N°7 faltante en el documento hace referencia a las memorias de cálculo y resultados de laboratorio de las muestras tomadas en campo. Debido a su extenso contenido, se presentará adjunto a este documento como una memoria de cálculo.



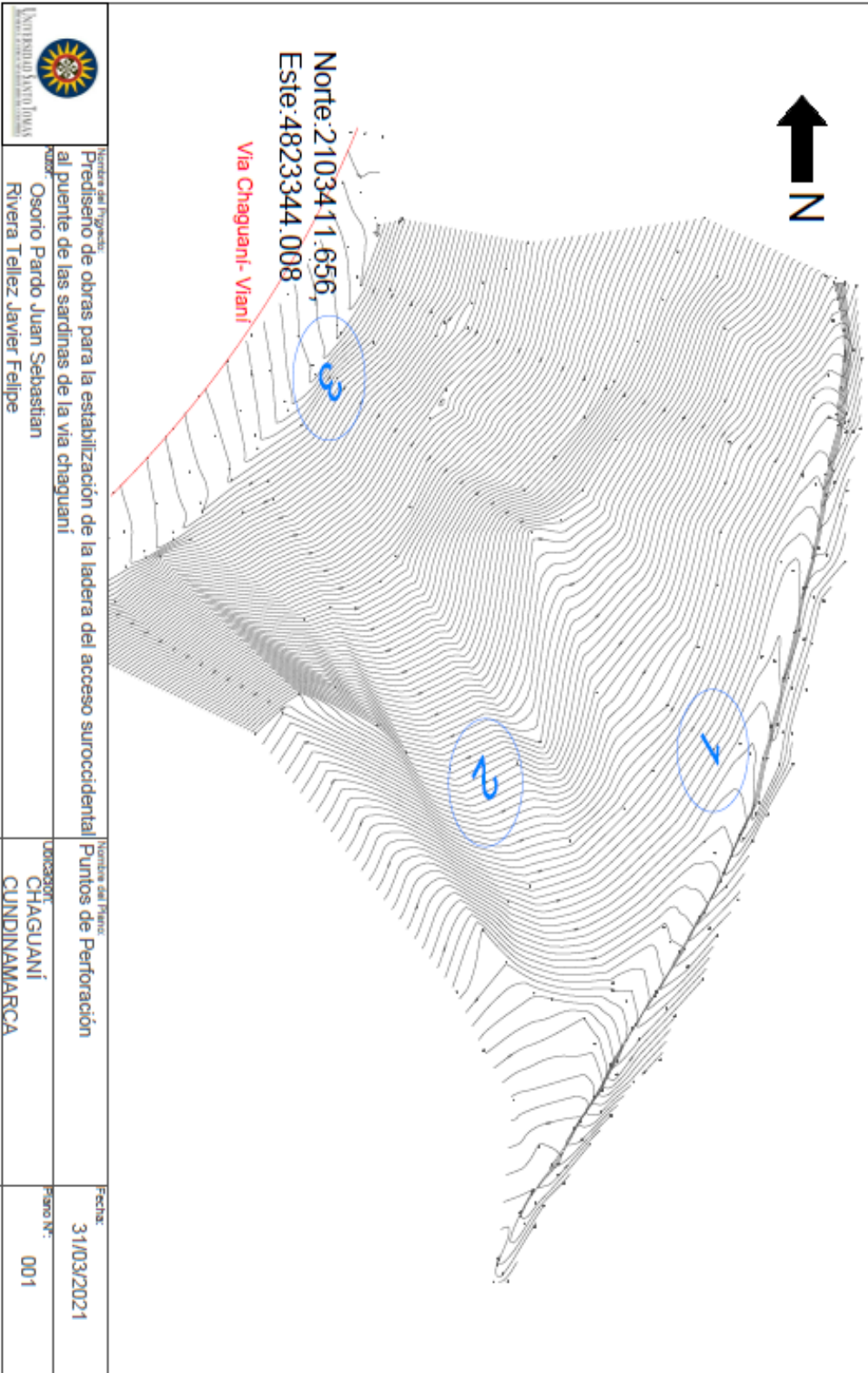
Anexo 1. Topografía de la zona vista en planta.

 <p>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</p>		
<p>Proyecto de obras para la estabilización de la ladera del acceso suroccidental al puente de las sardinas de la vía Chaguani- Viani en Cundinamarca</p> <p>Autor: Osorio Pardo Juan Sebastian Rivera Tellez Javier Felipe</p>	<p>Proyecto de obras para la estabilización de la ladera del acceso suroccidental al puente de las sardinas de la vía Chaguani- Viani en Cundinamarca</p>	<p>Fecha: 31/03/2021</p>
<p>Ubicación: Chaguani Cundinamarca</p>	<p>Proyecto de obras para la estabilización de la ladera del acceso suroccidental al puente de las sardinas de la vía Chaguani- Viani en Cundinamarca</p>	<p>Plan No: 002</p>

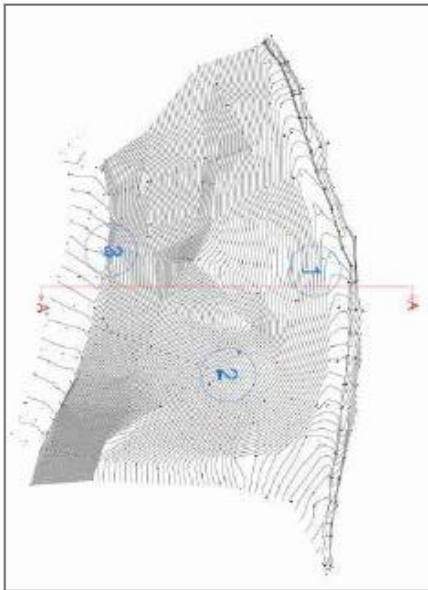
Anexo 2. Mapa topográfico municipio Chaguani



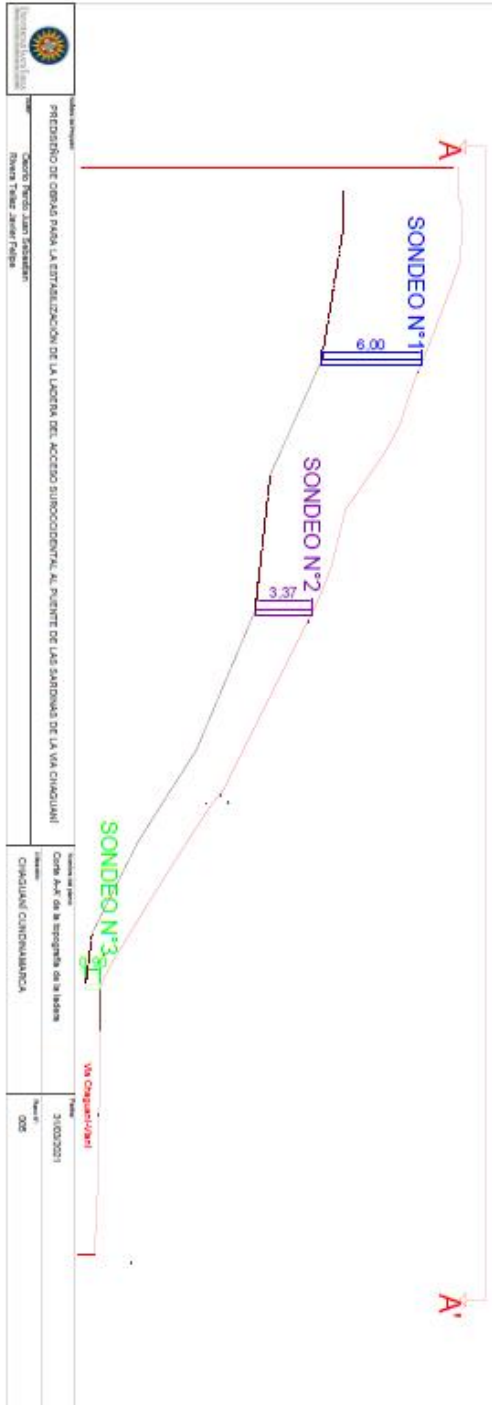
Anexo 3. Topografía ladera las Sardinas vista Lateral



Anexo 4. Puntos de perforación



SONDEO N°1
Descripción: Arcilla baja plasticidad CL, con gravas, cete claro
Angulo de fricción ϕ : 24.17
Cohesión c : Kg/cm ² : 0.327
Peso unitario total (g/cm ³): 2.1
SONDEO N°2
Descripción: Arcilla baja plasticidad arenosa, CL, cete claro
Angulo de fricción ϕ : 25.37
Cohesión c : Kg/cm ² : 0.650
Peso unitario total (g/cm ³): 2.15
SONDEO N°3
Descripción: Arcilla baja plasticidad CL, cete claro
Angulo de fricción ϕ : N/A
Cohesión c : Kg/cm ² : N/A
Peso unitario total (g/cm ³): 2.23

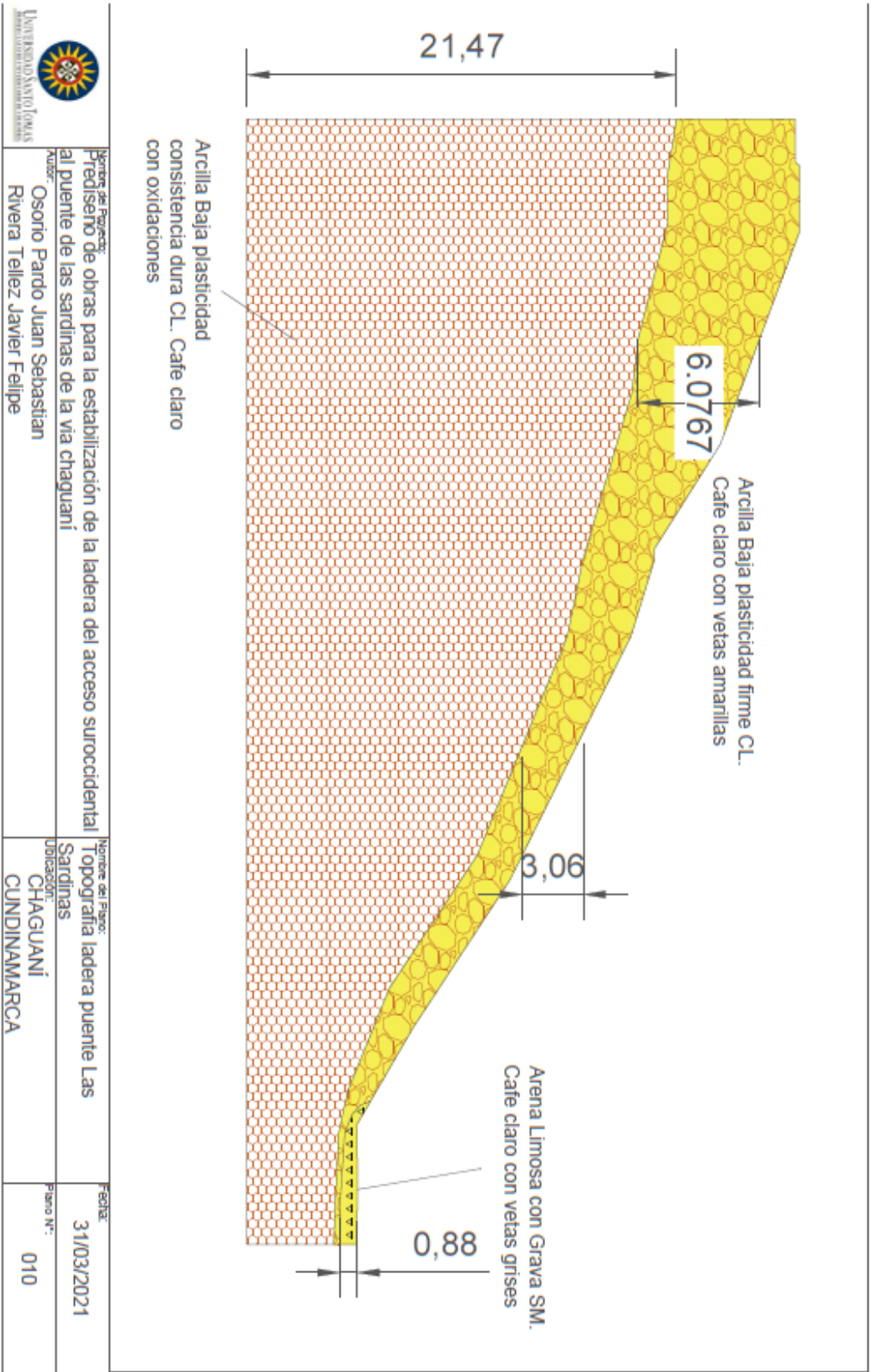



Ministerio de Transportes e Infraestructura
 DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS
 DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS
 DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS

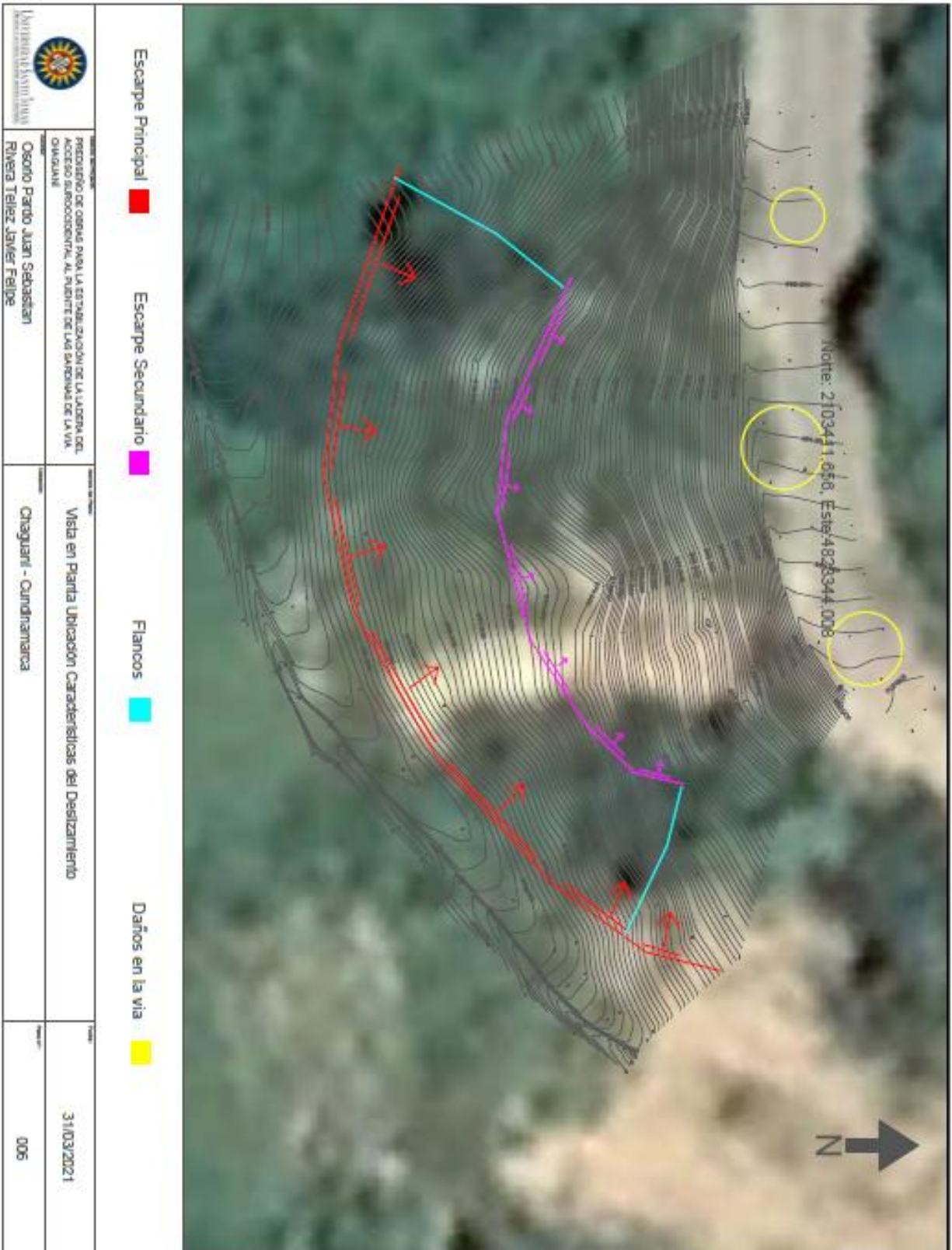
PROYECTO DE OBRAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA ACERVA DEL ACCESO SUBOCIDENTAL AL PUENTE DE LAS SARDINAS DE LA VÍA CHACUALLI
 Cante Anr. de la Sección de In Itiner
 CHACUALLI CONDOMINANCIA

Fecha de Emisión: 21/03/2021
 Versión: 002

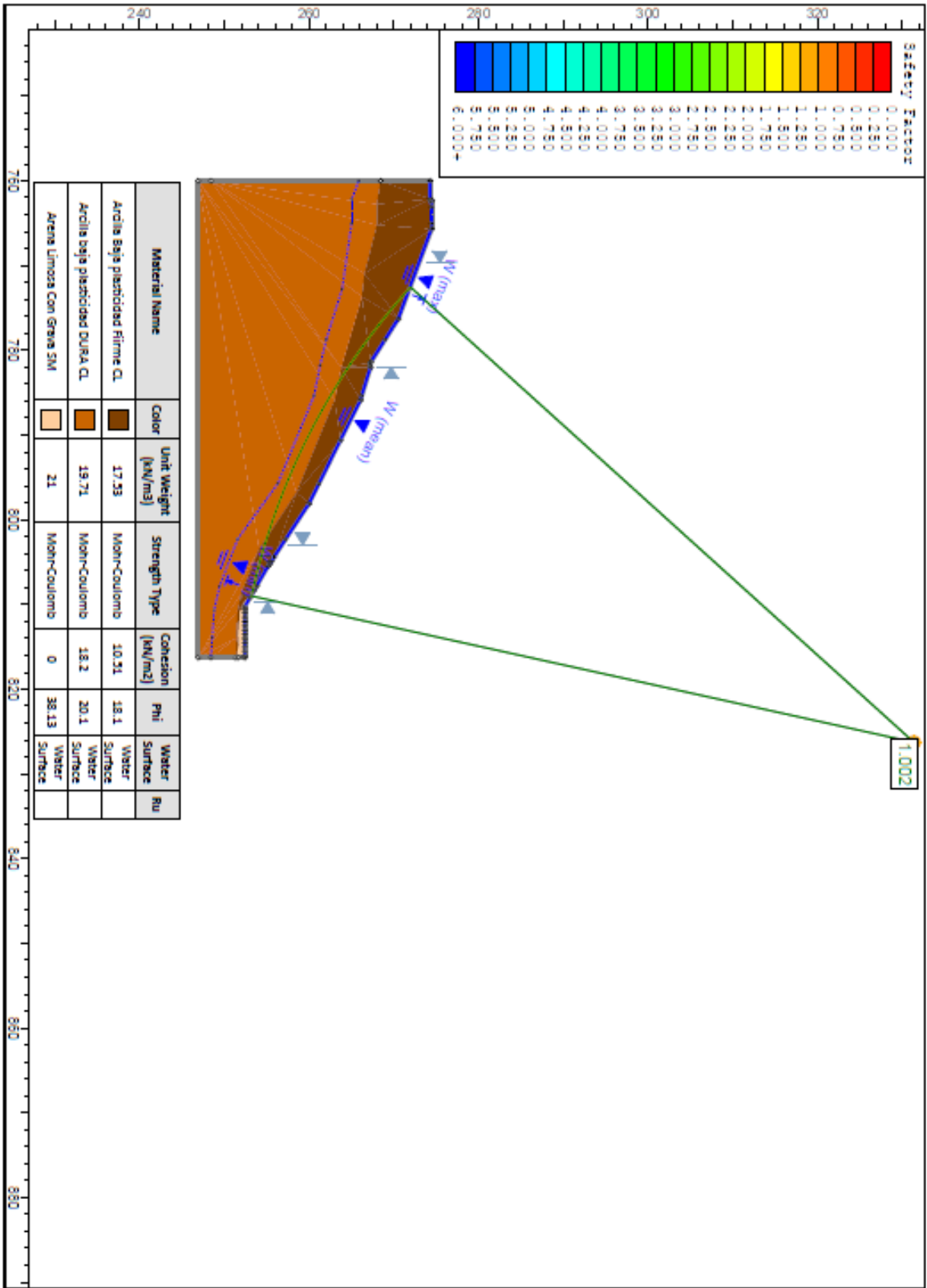
Anexo 5. Corte transversal Topografía



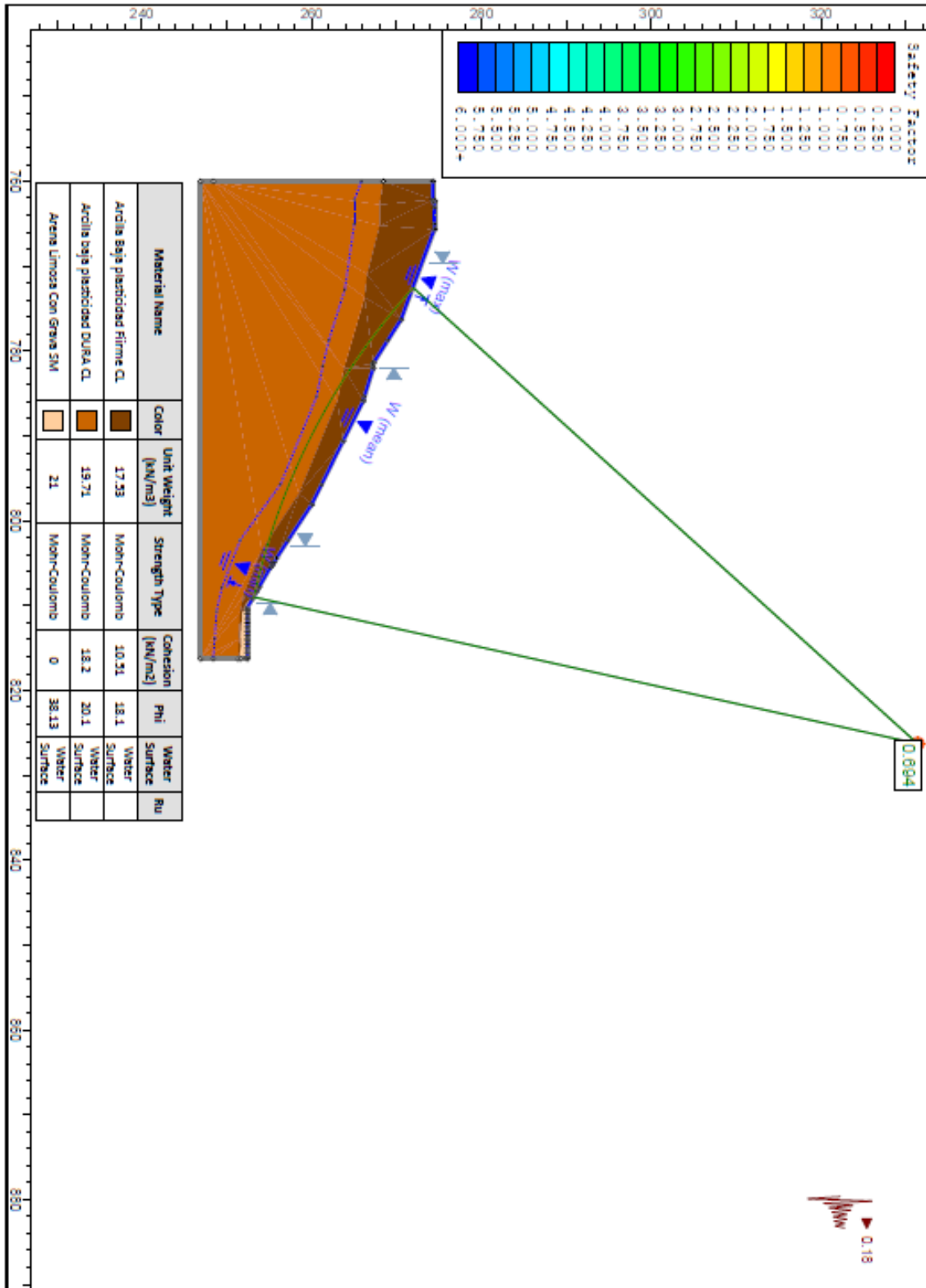
Anexo 6. Perfil estratigráfico Ladera



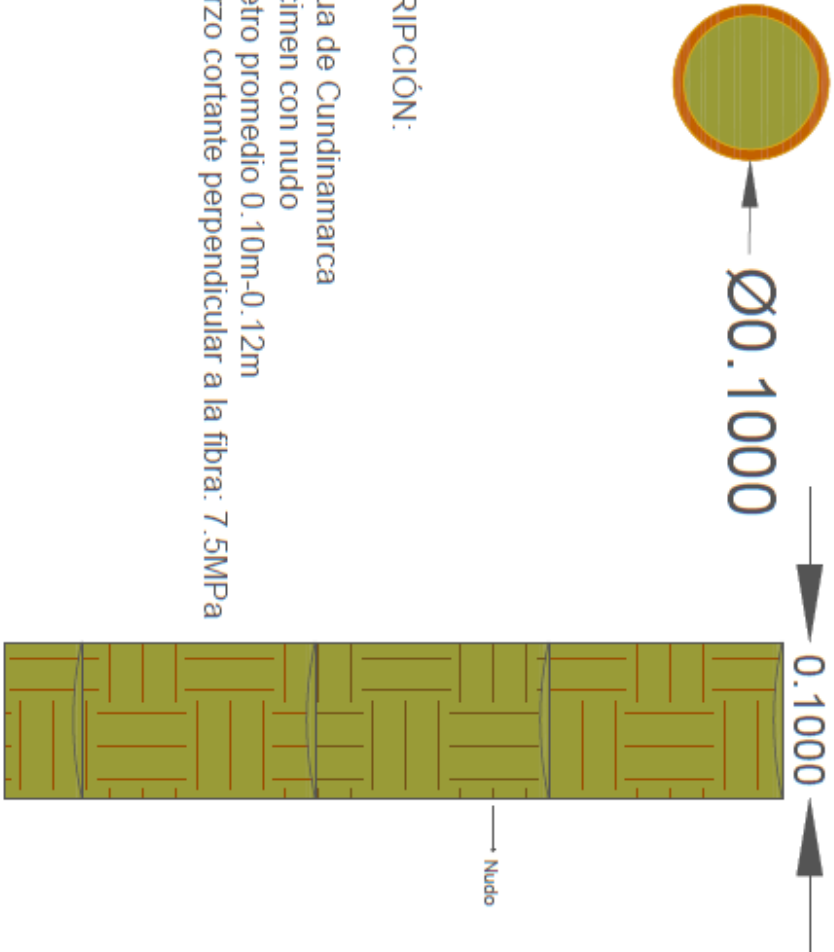
Anexo 8. Descripción del deslizamiento



Anexo 9. Retro cálculo Método Spencer




Anexo 10. Perfil con fuerza sísmica

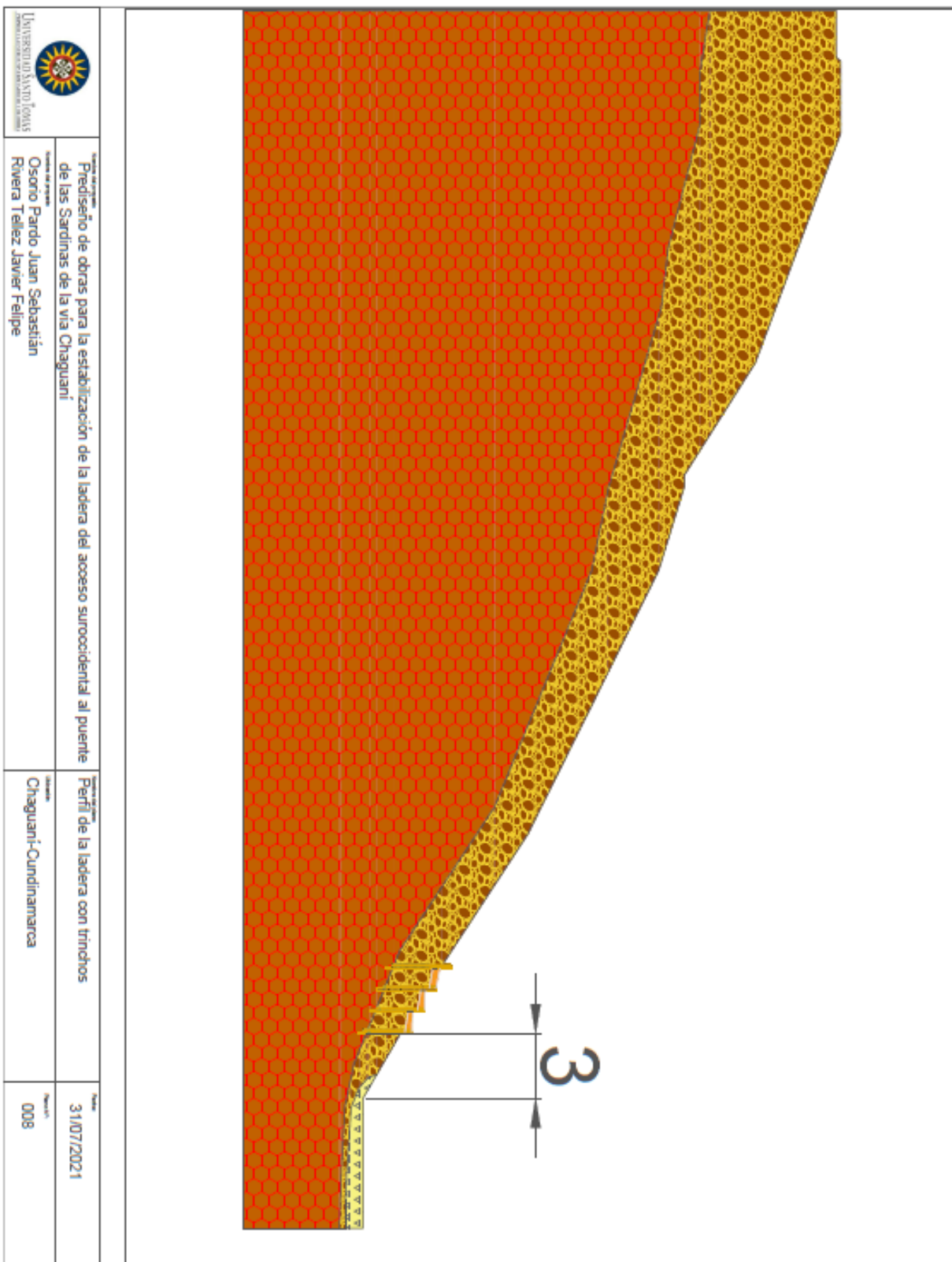


DESCRIPCIÓN:

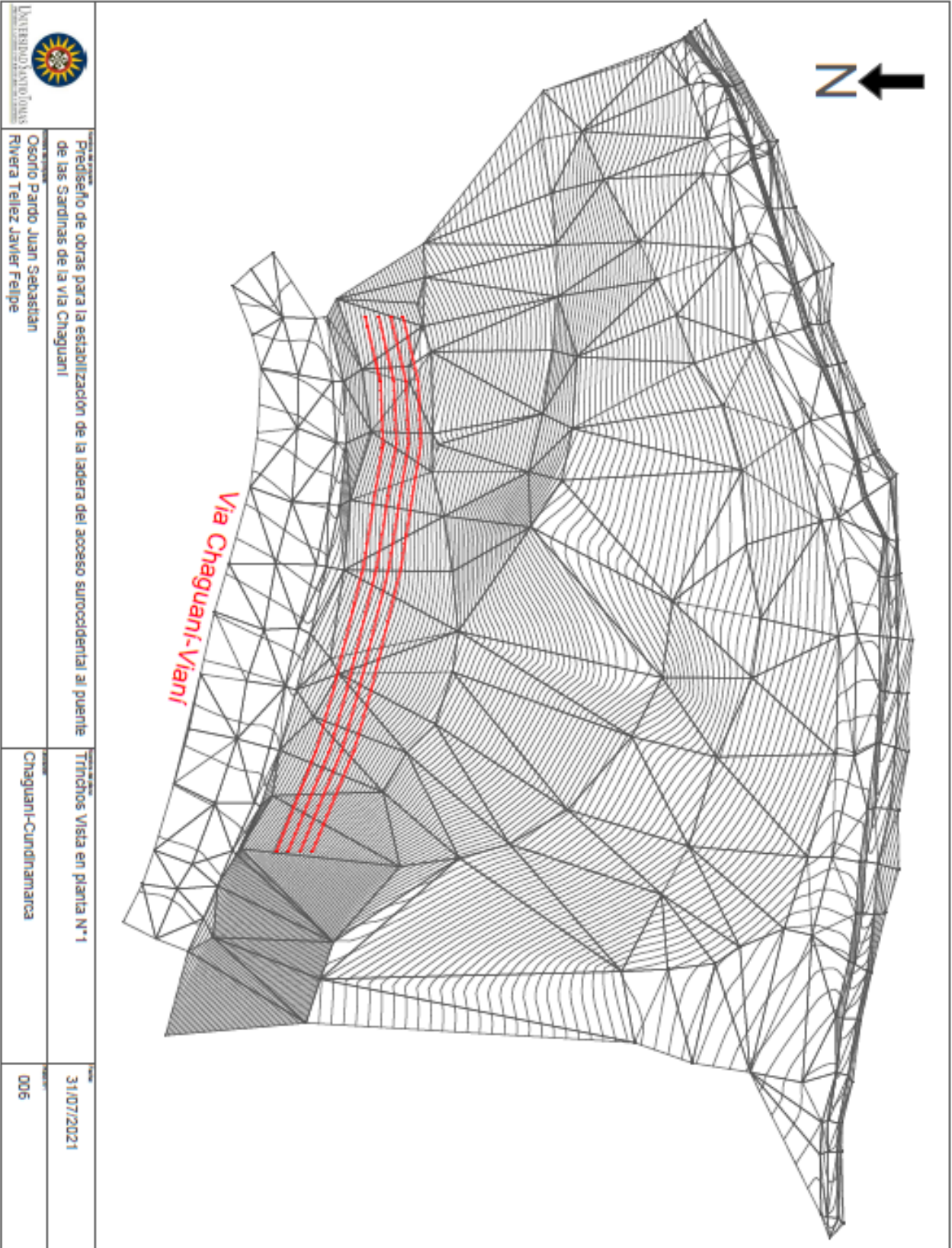
- Guadua de Cundinamarca
- Especimen con nudo
- Diámetro promedio 0.10m-0.12m
- Esfuerzo cortante perpendicular a la fibra: 7.5MPa

 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA</p>	<p>Proyecto de ingeniería: "Prediseño de obras para la estabilización de la ladera del acceso suroccidental al puente de las Sardinas de la vía Chaguaní"</p> <p>Autores del proyecto: Osorio Pardo, Juan Sebastián Rivera Tellez, Javier Felipe</p>	<p>Instalación: Descripción Guadua</p> <p>Material: Chaguaní-Cundinamarca</p>	<p>Fecha: 31/07/2021</p> <p>Identificación: 007</p>
---	--	---	---

Anexo 11. Descripción Guadua

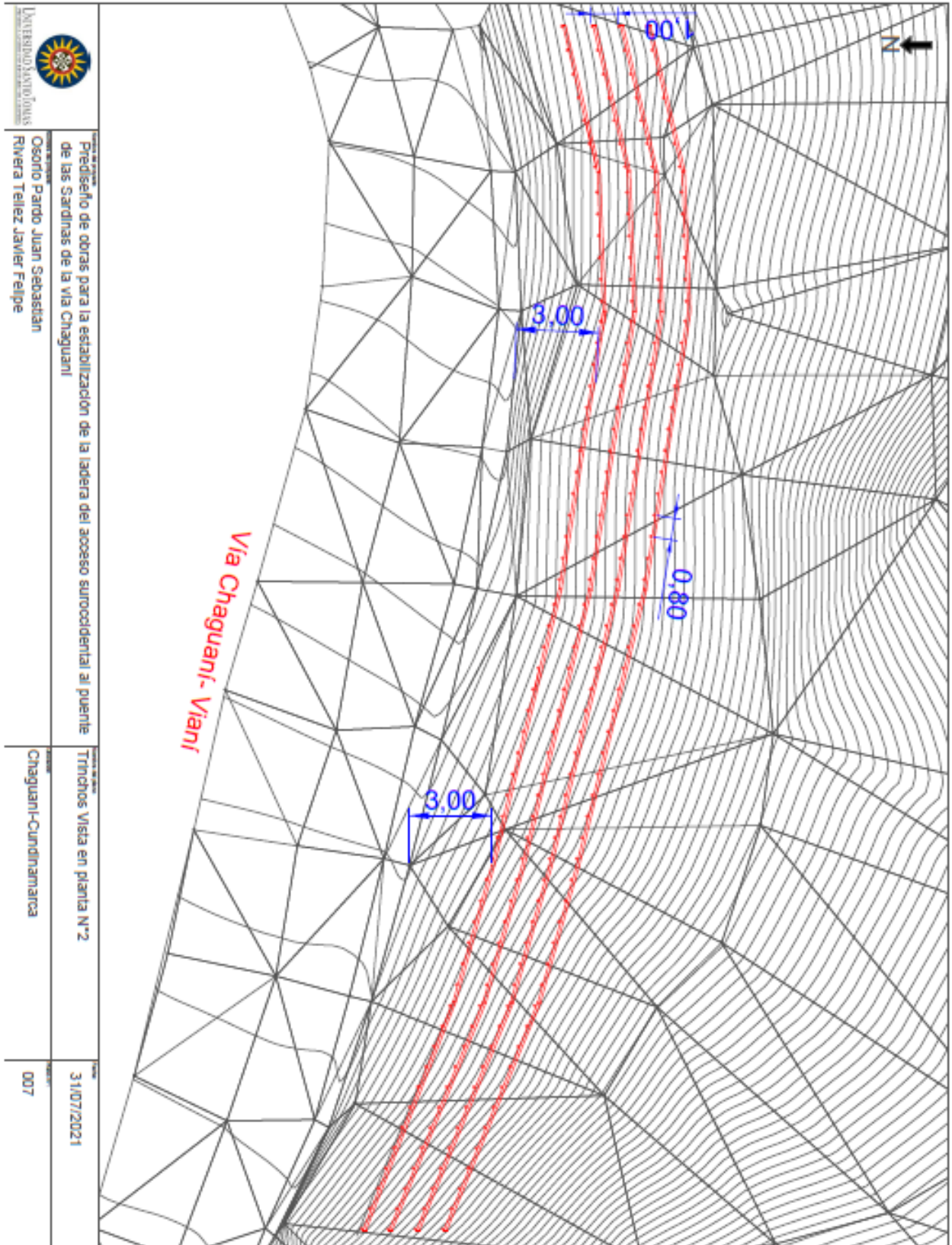


Anexo 12. Perfil de la ladera con trinchos

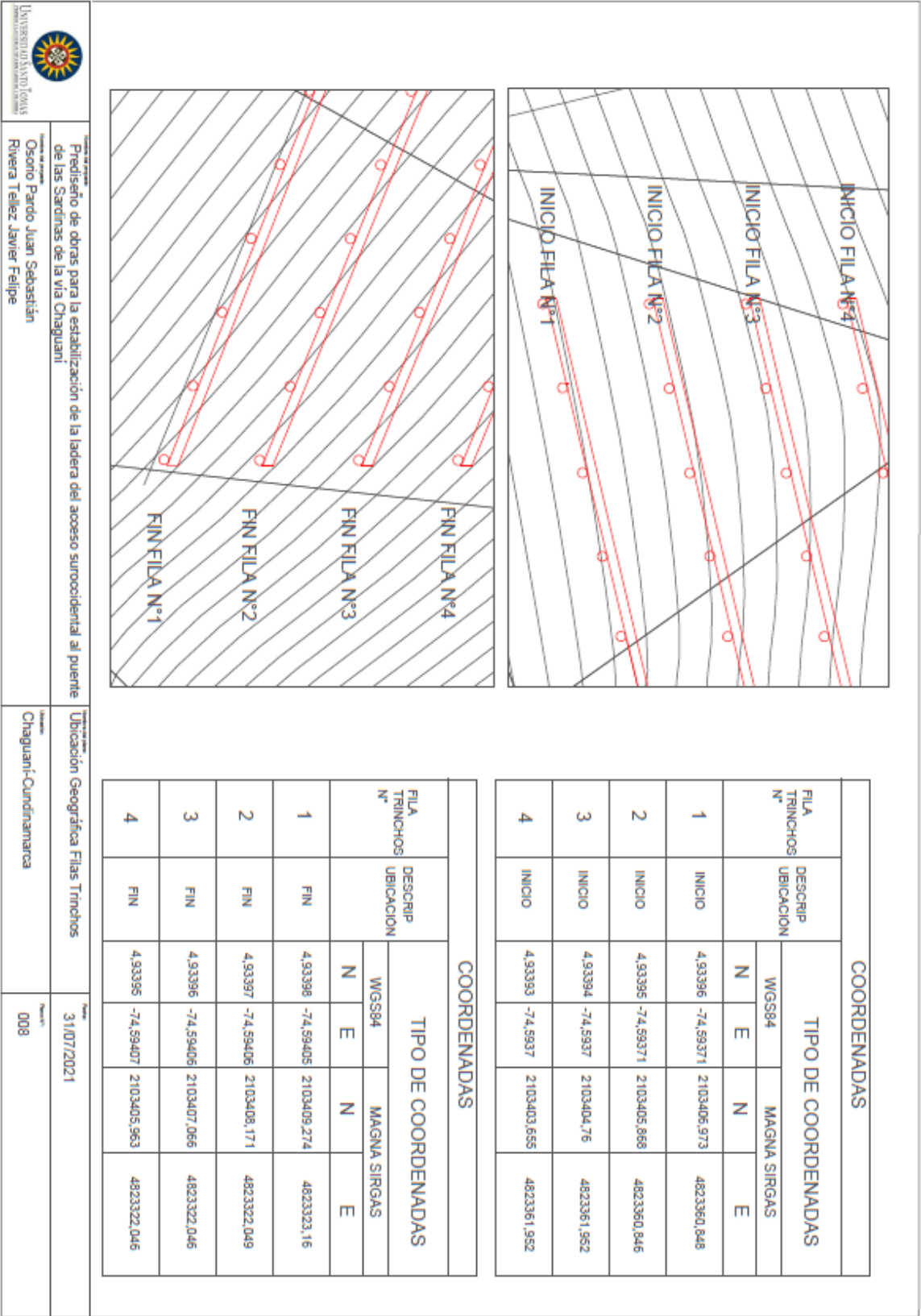


 <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE LOJA</p>	<p>Proyecto de obra Prediseño de obras para la estabilización de la ladera del acceso suroccidental al puente de las Sardinas de la vía Chaguani</p> <p>Elaborado por: Osorio Pardo Juan Sebastian Rivera Tellez Javier Felipe</p>	<p>Ubicación Trinchos Vista en planta N°1</p> <p>Provincia Chaguani-Cundinamarca</p>	<p>Fecha 31/07/2021</p> <p>Código 006</p>
--	---	--	---

Anexo 14. Vista en planta ubicación general de trinchos



Anexo 15. Vista N°2 en planta ubicación general de trinchos



Anexo 16. Coordenadas de ubicación de filas de trinchos

