

**APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LOS FACTORES DE VALUACION EN LOS  
FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA DEL BARRIO SAN FERMIN,  
MUNICIPIO DE OCAÑA, Y SELECCIÓN DE OBRAS DE MITIGACIÓN**

**ROMEL JESUS GALLARDO AMAYA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
MAESTRIA EN GEOTECNIA  
BUCARAMANGA**

**2014**

**APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LOS FACTORES DE VALUACION EN LOS  
FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA DEL BARRIO SAN FERMIN,  
MUNICIPIO DE OCAÑA, Y SELECCIÓN DE OBRAS DE MITIGACIÓN**

**ROMEL JESUS GALLARDO AMAYA**

**Trabajo de Aplicación presentado como requisito para optar al título de  
Magíster en Geotecnia**

**Director**

**WILFREDO DEL TORO RODRIGUEZ (I.C., M.Sc.)**

**CoDirector**

**GERMAN ALFONSO REYES MENDOZA (Geól., M.Sc.)**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
MAESTRIA EN GEOTECNIA  
BUCARAMANGA**

**2014**

Dedico especialmente este logro a mi familia por su apoyo en todo momento durante la realización de la maestría y a todas las personas que con sus consejos me ayudaron a alcanzar esta nueva meta en mi formación académica y profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por permitirme alcanzar uno de mis sueños y por darme toda la fortaleza requerida para ello.

A la Universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña, por darme todo el apoyo necesario para cursar mis estudios de maestría.

A mi querida Universidad Industrial de Santander por ofrecer el programa de maestría en geotecnia y permitirme así disfrutar, una vez más, de sus aulas y todo ese ambiente que siempre añoramos los egresados de esta alma mater.

Al profesor German Reyes Mendoza por su apoyo y aportes durante el desarrollo de este trabajo de grado.

A los integrantes del grupo de investigación en Geotecnia y Medio Ambiente – GIGMA de la UFPS Ocaña por su apoyo en la realización de los trabajos de campo.

Al Doctor Oscar Andrés Cuanalo Campos, docente investigador de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla-BUAP, México, por su invaluable asesoría.

A la ingeniería geóloga Johana Alexandra Casas por sus aportes.

A todos los profesores de la maestría que nos compartieron sus valiosos conocimientos y en especial a los profesores Wilfredo del Toro y Jaime Suarez, quienes desde el pregrado despertaron en mí, el interés por la Geotecnia.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>pág.</b>
INTRODUCCION .....	22
1. GENERALIDADES .....	24
1.1 LOCALIZACION Y ACCESO DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	24
1.2 OBJETIVOS.....	26
1.2.1 Objetivo general.....	26
1.2.2 Objetivos específicos. ....	27
1.3 METODOLOGIA .....	27
1.4 ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICA ACTUAL .....	29
1.5 ESPECIFICACIONES EQUIPOS PARA REALIZACION DE SONDEOS .....	37
2. GEOLOGIA.....	38
2.1 MARCO GEOTECTONICO REGIONAL .....	38
2.2 GEOLOGIA LOCAL .....	40
2.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL Y NEOTECTÓNICA.....	44
2.4 GEOMORFOLOGIA GENERAL .....	46
3. SINTESIS TEORICA DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD .....	47
2.5 LOS SUELOS RESIDUALES .....	48
3.1.1 Perfil de meteorización.....	48
3.1.2 Deslizamientos en suelos residuales. ....	50
2.6 TIPOS DE DESLIZAMIENTOS .....	50

3.2.1	Deslizamientos rotacionales.....	51
3.2.2	Deslizamientos traslacionales.....	52
3.3	METODOLOGIAS DE ANALISIS.....	52
3.3.1	Métodos cualitativos.....	53
3.3.2	Métodos cuantitativos.....	54
4.	CARACTERIZACIÓN GEOLOGICO-GEOTÉCNICA DEL SECTOR DE ESTUDIO.....	56
4.1	TOPOGRAFÍA DETALLADA .....	56
4.2	ESTRATIGRAFIA .....	62
4.2.1	Complejo intrusivo-extrusivo (Jci).....	62
4.3	GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	64
4.4.1	Unidad de paisaje de piedemonte.....	65
	Vertientes y Escarpes del complejo Intrusivo-Extrusivo de Ocaña (Veo)....	65
4.4.2	Análisis Morfométrico y Ambiente Morfogenético Local.....	65
4.4.3	Procesos morfodinámicos degradacionales.....	67
4.4.3.1	Remociones en masa.....	69
4.4.3.2	Erosión hídrica.....	71
4.5	INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA.....	72
4.5.1	Trabajos de campo.....	73
4.5.1.1	Sondeos geotécnicos.....	74
4.5.1.2	Perfiles estratigráficos.....	89
4.5.1.3	Monitoreo de niveles freáticos.....	97
4.5.1.4	Realización de pruebas de infiltración.....	99
4.5.1.5	Pruebas de la dureza de rebote con el martillo Schmidt (Esclerómetro).....	100

4.5.1.6 Toma de datos estructurales.....	102
4.5.2 Trabajos de laboratorio.....	108
4.5.2.1 Ensayos para clasificación de suelos y humedad (%).....	109
4.5.2.2 Ensayos para ángulo de fricción interna, cohesión, peso unitario, peso específico relativo y compresión inconfinaada. ....	110
4.5.2.3 Ensayos de carga puntual.....	112
4.6 ANALISIS DE RESULTADOS E INTEGRACION DE DATOS PARA MODELO GEOTECNICO.....	112
4.6.1 Geometría y estratigrafía. ....	113
4.6.2 Propiedades de los geomateriales.....	113
4.6.3 Modelo geotécnico.....	115
4.7 ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES .....	122
4.7.1 Análisis talud central antes y después de la falla.....	122
4.7.1.1 Análisis Falla Planar con RocPlane.....	123
4.7.1.2 Análisis Falla por Bloque con Slope/W.....	124
4.7.1.3 Análisis Falla Circular con Slope/W.....	126
4.7.2 Análisis talud izquierdo antes y después de la falla.....	128
4.7.2.1 Análisis Falla Planar con RocPlane.....	128
4.7.2.2 Análisis Falla por Bloque con Slope/W.....	129
4.7.2.3 Análisis Falla Circular con Slope/W.....	131
5 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LOS FACTORES DE VALUACIÓN PARA ANALISIS DE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD.....	133
5.1 FACTORES PARA EVALUAR LAS CARACTERÍSTICAS INTRINSECAS DE LA LADERA.....	133
5.1.1 Morfología y topografía. ....	133

5.1.2	Geología.....	135
5.1.3	Mecánica de suelos.....	136
5.1.4	Condiciones hidrogeológicas. ....	139
5.1.5	Vegetación. ....	140
5.2	FACTORES PARA EVALUAR CONDICIONES REGIONALES .....	143
5.2.1	Lluvia. ....	143
5.2.2	Sismicidad.....	144
5.2.3	Erosión y socavación. ....	145
5.2.4	Actividad Humana.....	147
5.3	FACTORES PARA EVALUAR EL CÁLCULO DE LA ESTABILIDAD .....	149
5.4	RESUMEN DE FACTORES DE VALUACIÓN Y NIVEL DE INFLUENCIA 150	
6	MITIGACIÓN .....	152
6.1	SELECCIÓN DE OBRAS DE MITIGACIÓN DE ACUERDO A RANGO DE INFLUENCIA DE LOS FACTORES DE VALUACIÓN.....	154
6.2	DESCRIPCION DE OBRAS DE MITIGACIÓN PORPUESTAS Y VERIFICACIÓN DE CONDICIONES DE ESTABILIDAD. ....	154
6.2.1	Conformación de la superficie del talud.....	154
6.2.2	Elementos de drenaje.....	162
6.2.3	Protección superficial.....	168
6.2.4	Elementos de refuerzo.....	170
6.3	COMPROBACIÓN DE ESTABILIDAD TENIENDO EN CUENTA LAS OBRAS DE MITIGACIÓN.....	173
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	176
	BIBLIOGRAFIA.....	180

ANEXOS.....186

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. El perfil de meteorización en rocas ígneas y metamórficas, según Deere y Patton (1971) [13]. .....	49
Tabla 2. Descripción litológica. ....	62
Tabla 3. Para suelos granulares. ....	96
Tabla 4. Para suelos cohesivos. ....	96
Tabla 5. Seguimiento a profundidad niveles freáticos.....	98
Tabla 6. Datos Dureza de Rebote con el Martillo Schmidt.....	101
Tabla 7. Datos de dirección y buzamiento para sector crítico ladera en estudio. ....	102
Tabla 8. Resultados de laboratorio (Clasificación).....	109
Tabla 9. Resultados de laboratorio (propiedades físicas y mecánicas). ....	111
Tabla 10. Resultados de laboratorio (pesos unitarios).....	111
Tabla 11. Parámetros utilizados en el modelamiento. ....	114
Tabla 12. Parámetros obtenidos con retro cálculo para falla talud central (perfil 2). .....	114
Tabla 13. Resultados análisis falla planar talud central RocPlane.....	124
Tabla 14. Resultados análisis falla en bloque talud central Slope/W. ....	125
Tabla 15. Resultados análisis falla circular talud central Slope/W. ....	127
Tabla 16. Resultados análisis falla planar talud izquierdo RocPlane. ....	129
Tabla 17. Resultados análisis falla en bloque talud izquierdo Slope/W. ....	131
Tabla 18. Resultados análisis falla circular talud izquierdo Slope/W. ....	132
Tabla 19. Factores de Valuación morfo-topográficos.....	134
Tabla 20. Factores de valuación geológicos (a) .....	135
Tabla 21. Factores de valuación geológicos (b). ....	136
Tabla 22. Factor de valuación por mecánica de suelos (modificado). ....	139

Tabla 23. Factor de valuación por condiciones hidrogeológicas.....	140
Tabla 24. Cálculo de Grado de Saturación (Gw). .....	140
Tabla 25. Cobertura vegetal en la zona de estudio.....	141
Tabla 26. Factor de valuación por vegetación. ....	142
Tabla 27. Datos estación IDEM en UFPS Ocaña. ....	143
Tabla 28. Factor de valuación por climatología.....	144
Tabla 29. Factores de valuación por sismicidad. ....	144
Tabla 30. Cálculo de Factor de valuación por sismicidad. ....	145
Tabla 31. Factores de valuación por erosión y socavación. ....	146
Tabla 32. Factor de valuación por actividad humana.....	148
Tabla 33. Cálculo de sobrecargas. ....	148
Tabla 34. Factor de valuación por análisis de estabilidad.....	149
Tabla 35. Resumen de factores de valuación.....	151
Tabla 36. Factores de valuación y procesos constructivos a utilizar.....	156
Tabla 37. Resultados de la comprobación de estabilidad talud central (Slope/W). .....	174
Tabla 38. Resultados de la comprobación de estabilidad talud izquierdo (Slope/W). .....	174

## LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Vista General ciudad de Ocaña. ....	24
Figura 2. Localización particular de la zona de estudio. ....	25
Figura 3. Zona de Estudio.....	26
Figura 4. Diagrama de flujo etapas metodología de análisis. ....	26
Figura 5. Sector de estudio en Octubre de 2009. ....	30
Figura 6. Sector de estudio en Junio de 2013. ....	30
Figura 7. Sector Talud derecho zona de estudio, abril de 2010.....	32
Figura 8. Sector Talud derecho zona de estudio, diciembre de 2013. ....	32
Figura 9. Sector de estudio. Parte central e izquierda, abril de 2010.....	33
Figura 10. Sector de estudio. Parte central e izquierda, diciembre 2013.....	33
Figura 11. Tubería de aducción planta El Llanito, de $\phi=18''$ en concreto. ....	34
Figura 12. Agua proveniente de la tubería de aducción. Parte alta de la ladera. ....	35
Figura 13. Presencia de agua en las casas del pie del talud. ....	36
Figura 14. Presencia de agua en las casas del pie del talud. ....	36
Figura 15. Mapa geológico regional que abarca parte de los departamentos de Santander (extremo norte), Bolívar y Cesar (parte sur) y de Norte de Santander. El área urbana de Ocaña se localiza bajo la estrella blanca, al centro, en rocas ígneas Mesozoicas. ....	39
Figura 16. Esquema regional que ubica geológicamente a Ocaña y Abrego, fundadas sobre rocas ígneas, de colores rojo y fucsia, del Triásico y Jurásico, respectivamente; en mostaza rocas metamórficas del Precámbrico al Paleozoico. ....	40
Figura 17. Afloramiento de materiales ígneos de composición general granitoides, en el sector sur de Ocaña. Nótese su carácter masivo, la meteorización de las	

plagioclasas (manchas blancas de caolinita), lo minerales ferromagnesianos (oxidados y más oscuros) y la presencia de fracturas y diques delgados [8].	41
Figura 18. <i>Superior</i> : detalle de la litología masiva y dura, cubierta por costras de meteorización oscuras; <i>inferior</i> : minerales más alterados, con caolín, sericita y óxidos férricos, en el barrio San Fermín (Ocaña).	42
Figura 19. Detalle de filón pegmatítico, duro y fracturado, con abundante cuarzo y micas.	43
Figura 20. Mapa geológico y estructural.	45
Figura 21. Imagen con la ubicación general de Ocaña, población fundada sobre Unidad Fisiográfica Cordillera Oriental, según imagen Landsat (fecha de toma: 2-3-2003).	46
Figura 22. Diferentes superficies circulares de rotura.	51
Figura 23. Casos de deslizamientos traslacionales.	53
Figura 24. Levantamiento topográfico sector de estudio.	58
Figura 25. Sección transversal 1. (Perfil sector izquierdo talud crítico).	59
Figura 26. Sección transversal 2 (Perfil sector central talud crítico)	60
Figura 27. Sección transversal 3 (Perfil sector derecho talud crítico)	61
Figura 28. Detalles afloramiento en el sector de estudio.	63
Figura 29. Imagen remota (fecha el 2-3-2003) muestra los controles morfométricos (en taches amarillos), aparece el barrio San Fermín, Ocaña.	64
Figura 30. Vista de la ladera antropizada de San Fermín (Lasf), en donde se alcanzan elevaciones entre 1224 y 1270 msnm. Se ubican los perfiles levantados (entre ellos el 1, 2 y 3 del sector más crítico).	66
Figura 31. Sector izquierdo del talud crítico (corresponde al perfil 1)	67
Figura 32. Sector central del talud crítico (corresponde al perfil 2)	68
Figura 33. Sector derecho del talud crítico (corresponde al perfil 3)	68
Figura 34. Deslizamiento típico en la zona estudiada (movimiento de cuña completa).	69
Figura 35. Deslizamiento típico en la zona estudiada, con desprendimientos locales de bloques.	70

Figura 36. Características deslizamiento en perfil 1 (zona izquierda-sector crítico)	70
Figura 37. Erosión laminar (EHL) en sectores de la ladera sur de San Fermín. ....	71
Figura 38. Sector con erosión hídrica concentrada en cárcavas (EHCc).....	72
Figura 39. Sector con erosión hídrica concentrada en surcos (EHCs). ....	73
Figura 40. Localización sondeos.....	75
Figura 41. Realización Sondeo No.1 .....	76
Figura 42. Muestras obtenidas en el Sondeo No.1. ....	76
Figura 43. Realización sondeo No.2. ....	78
Figura 44. Algunas muestras obtenidas en el Sondeo No.2. ....	79
Figura 45. Realización sondeo No. 3. ....	81
Figura 46. Muestras obtenidas sondeo No.3. ....	82
Figura 47. Realización sondeo No.4. ....	84
Figura 48. Muestras obtenidas sondeo No.4. ....	85
Figura 49. Realización sondeo No.5 y condiciones macizo rocoso. ....	86
Figura 50. Muestras obtenidas sondeo No.5 .....	88
Figura 51. Perfil estratigráfico Sondeo No.1 .....	89
Figura 52. Perfil estratigráfico Sondeo No.2 .....	90
Figura 53. Perfil estratigráfico sondeo No.3.....	92
Figura 54. Perfil estratigráfico sondeo No.4.....	93
Figura 55. Perfil estratigráfico sondeo No.5.....	95
Figura 56. Afloramiento de agua atribuido a filtraciones de la tubería de aducción.	97
Figura 57. Prueba de infiltración, método de Porchet del pozo barrenado invertido.	99
Figura 58. Realización pruebas con el martillo Schmidt. ....	100
Figura 59. Toma de datos estructurales. ....	103
Figura 60. Toma de datos estructurales. ....	104
Figura 61. Análisis talud sector izquierdo (Perfil 1) para definir Rumbo y Buzamiento medio, diagrama de polos. ....	104

Figura 62. Plano de contorno de polos para talud sector crítico. ....	105
Figura 63. Diagrama de polos datos estructurales sector crítico de estudio. ....	106
Figura 64. Plano de contorno de polos para datos estructurales talud sector crítico. .....	106
Figura 65. Análisis cinemático para el Talud izquierdo (Perfil 1).....	108
Figura 66. Modelo geotécnico para el talud central (perfil 2) antes del deslizamiento del año 2013. ....	115
Figura 67. Modelo geotécnico para el talud central (perfil 2) después del deslizamiento del año 2013 (retirando el bloque deslizado). ....	116
Figura 68. Modelo geotécnico para el talud izquierdo (perfil 1) antes del deslizamiento del año 2012. ....	116
Figura 69. Modelo geotécnico para el talud izquierdo (perfil 1) después del deslizamiento del año 2012. ....	117
Figura 70. Características modelo geotécnico para el talud izquierdo (perfil 1) antes del deslizamiento del año 2012, software RocPlane. a) (Geometría) .....	118
Figura 71. Características modelo geotécnico para el talud izquierdo (perfil 1) condición actual, software RocPlane. a) (Geometría).....	119
Figura 72. Características modelo geotécnico para el talud central (perfil 2) antes del deslizamiento del año 2013, software RocPlane. a) (Geometría) .....	120
Figura 73. Características modelo geotécnico para el talud central (perfil 2) condición actual, software RocPlane. a) (Geometría).....	121
Figura 74. Análisis con Rocplane para falla planar Talud central actual. Dinámico. .....	123
Figura 75. Análisis con Slope/w falla en bloque Talud central actual. Dinámico..	125
Figura 76. Análisis con Slope/w falla circular Talud central actual. Dinámico.....	127
Figura 77. Análisis con Rocplane para falla planar Talud Izquierdo actual. Dinámico.....	128
Figura 78. Análisis con Slope/w falla en bloque talud izquierdo actual. Dinámico. .....	130
Figura 79. Análisis con Slope/w falla circular Talud izquierdo actual. Dinámico. .	132

Figura 80. Distribución de pendientes en el sector de estudio de la ladera. ....	134
Figura 81. Cálculo del Número de estabilidad $N_c$ , método de Taylor. ....	138
Figura 82. Gráfica modificada factor de valuación por mecánica de suelos (suelos con cohesión y fricción). ....	138
Figura 83. Tipos de cobertura vegetal en la zona de estudio. ....	141
Figura 84. Concentración de drenajes en la zona de estudio. ....	147
Figura 85. Componentes y procesos de la gestión del riesgo de desastres. ....	153
Figura 86. Planta con las obras de mitigación propuestas. ....	160
Figura 87. Conformación de la superficie de los taludes (Sin escala). ....	161
Figura 88. Canal transversal en concreto. ....	162
Figura 89. Canaleta en concreto. ....	163
Figura 90. Cañuela para descarga dren de penetración. ....	163
Figura 91. Dren de pie. ....	164
Figura 92. Detalle drenes de penetración. ....	165
Figura 93. Detalle canal escalonado (torrentera). ....	167
Figura 94. Detalle canal de pantallas deflectoras. ....	167
Figura 95. Detalle escalinata. ....	168
Figura 96. Detalle siembra de pasto Vetiver. ....	169
Figura 97. Revegetalización con biomanto e hidrosiembra. ....	169
Figura 98. Obras de mitigación en el talud izquierdo (perfil 1). ....	171
Figura 99. Detalle revestimiento con pantalla de clavos pasivos. ....	172
Figura 100. Colocación de clavos, drenes cortos y Geodren planar. ....	172
Figura 101. Detalle colocación de clavo – pantalla y centralizador. ....	173
Figura 102. Obras de mitigación en el talud central (perfil 2). ....	175

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
Anexo A. Metodología de los factores de valuación .....	187
Anexo B. Información topográfica .....	208
Anexo C. Análisis de núcleos sondeos 1 y 2 .....	224
Anexo D. Calculo infiltración método de Porchet del pozo barrenado invertido...	227
Anexo E. Resultados análisis con RocLab .....	232
Anexo F. Resultados ensayos de laboratorio .....	237
Anexo G. Resultados “retro calculo” .....	288
Anexo H. Resultados análisis de estabilidad .....	294
Anexo I. Resultados comprobación de estabilidad con obras de mitigación.....	315

## RESUMEN

**TITULO:** APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LOS FACTORES DE VALUACION EN LOS FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA DEL BARRIO SAN FERMIN, MUNICIPIO DE OCAÑA, Y SELECCIÓN DE OBRAS DE MITIGACIÓN\*

**AUTOR:** ROMEL JESUS GALLARDO AMAYA\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Talud, Deslizamientos, estabilidad, Factor de Valuación, Mitigación.

**DESCRIPCIÓN:** El barrio San Fermín ubicado en la zona sur de la ciudad de Ocaña, está en una zona de ladera de alta pendiente. Su crecimiento acelerado en los últimos años por la continua llegada de población desplazada ha conllevado a un nivel alto de intervención de las laderas. Debido a ello se presentan problemas de erosión y de estabilidad de taludes, que mantienen en riesgo a una parte de sus habitantes. Con el objeto de analizar la situación descrita y proponer medidas que permitan reducir los niveles de riesgo, se realizó un estudio mediante la implementación del método de los factores de valuación. Metodología cualitativa apoyada en un análisis inicial de estabilidad, cuyos resultados se incorporan en dicha metodología.

El estudio incluyó recopilación de información previa de la zona y numerosas vistas de campo, para establecer cómo ha evolucionado la problemática actual. Se realizaron trabajos de campo para recopilar información topográfica, hidrogeológica, de mecánica de suelos y rocas, de geología y geomorfología, de cobertura vegetal, de niveles de intervención: sobrecargas y cortes. Además de condiciones de amenaza sísmica e información hidrológica: precipitación, drenajes, características de la cuenca.

Se realizó análisis de estabilidad mediante métodos de equilibrio límite para diferentes escenarios y estableciendo que el sector de estudio tiene susceptibilidad a deslizamientos, por lo cual se analizaron los factores de valuación (morfología, topografía, geología, tipos de suelos, hidrogeología, vegetación, lluvia, sismicidad, erosión-socavación, actividad humana y estabilidad: factor de seguridad y profundidad de superficie de falla), se estableció su nivel de influencia en la problemática de la ladera y se seleccionaron obras de mitigación. Se verificó posteriormente la estabilidad con la implementación de estas obras (las que permitió incluir el software Slope/W), logrando finalmente mejorar las condiciones de estabilidad.

---

\* Trabajo de grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil.  
Director (I.C., MSc.) Wilfredo del Toro Rodríguez.

## SUMMARY

**TITLE: THE APPLYING THE VALUATION FACTORS METHOD ON LANDSLIDES PHENOMENA AT SAN FERMIN NEIGHBORHOOD, MUNICIPALITY OF OCAÑA, AND SELECTION OF MITIGATION WORKS.\***

**AUTHOR: ROMEL JESUS GALLARDO AMAYA\*\***

**KEY WORDS:** Slope, Slides, stability, Valuation Factor, Mitigation.

**DESCRIPTION:** Southern Ocaña San Fermin neighborhood is located on a steep slope zone. Its growth in the last few years due to the continuous arrival of homeless people, has derived in a high level of intervention of the hill slopes. Because of that, erosion and slope stability problems arise, which pose a risk on part of this zone inhabitants. With the objective of analyzing this situation and to propose measures in order to reduce risk levels, a study was carried out through the implementation of the valuation factors method, a qualitative methodology supported on an initial stability assessment, with its results being incorporated in such methodology.

The study included collecting historic information from the zone and numerous field visits to establish how the current problem has evolved. Field works were accomplished in order to collect information on topography, hydrogeology, soils and rocks mechanics, geology, geomorphology, vegetation cover, status of intervention, overloads and soil cuts; in addition, it were considered seismic hazard and hydrologic conditions such as precipitation, drainage and basin characteristics.

A stability analysis was completed using limit equilibrium methods for several scenarios and by determining that the study sector has susceptibility to landslides, whereby valuation factors were analyzed (morphology, topography, geology, soil type, hydrogeology, vegetation, rainfall, seismicity and failure surface depth), it was established its level of influence on the slope problem and mitigation works were selected. Later, stability was verified through implementation of these works (those allowed by Slope/W software) and finally obtaining better stability conditions.

---

\* Work degree.

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering.  
Director (C.E., MSc.) Wilfredo del Toro Rodríguez.

## INTRODUCCION

La ciudad de Ocaña desde los años 90's ha acogido a las comunidades del Catatumbo y del sur de Bolívar que huyen del conflicto armado que vive el país. Tales familias<sup>1</sup>, desplazadas y pobres, ante la falta de apoyo adecuado por parte del estado, han optado por invadir casi todas las laderas y vertientes perimetrales urbanas, mediante la realización de viviendas, cortes, terraplenes, accesos peatonales, redes vitales y otros equipamientos, sin ninguna orientación técnica y sin las debidas obras de estabilidad de taludes, manejo de aguas lluvias y servidas.

Sobre estos asentamientos subnormales, y facilitados por la susceptibilidad geomorfológica de los terrenos que ocupan, se han presentado múltiples fenómenos de remoción en masa, que durante la temporada invernal del año 2010 alcanzó una cifra record de 120 eventos [1]. Se ha dejado a la voluntad de la naturaleza y la responsabilidad de los pobladores enfrentar la problemática.

En tal sentido, el presente trabajo de aplicación busca estudiar dicha problemática y brindar herramientas técnicas a la alcaldía municipal de Ocaña, guardando concordancia con la línea estratégica de sostenibilidad ambiental y prevención del riesgo, prevista en el capítulo VI del Plan Nacional de Desarrollo [2] y la ley 1523 de 2012, que establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres [3].

La realización de investigaciones geotécnicas específicas ejecutadas en el barrio San Fermín, al sur de la segunda ciudad más importante de Norte de Santander, ha permitido no solo caracterizar los factores involucrados y las tipologías de los

---

<sup>1</sup> De acuerdo a cifras de ACNUR existen 95349 víctimas de desplazamiento hasta noviembre de 2008, siendo Cúcuta y Ocaña los municipios receptores. La OIM estima el número de hogares desplazados que llegaron al municipio de Ocaña en 1400 entre 1995 y 2000.

procesos de inestabilidad en estos terrenos antropizados desfavorablemente, sino proponer un esquema de mitigación estructural de riesgos, a través de la recomendación de medidas de estabilización, tipo y efectivas, enmarcado en un Fondo para la Gestión Local del Riesgo, para un verdadero conocimiento y reducción del riesgo, y como ingrediente técnico para el manejo de desastres.

El desarrollo de este trabajo no solo se justificó desde el punto de vista de las necesidades establecidas por normativa vigente en el país, sino principalmente porque los habitantes del sector estudiado no han contado con el apoyo de las autoridades locales, que a la fecha no han implementado ningún programa de estudio de estabilidad de laderas en este sitio; también se busca sensibilizar sobre el riesgo a la población involucrada y aplicar una metodología de trabajo adaptada a la zona, que contempló trabajos multidisciplinarios topográficos, geológicos, geomorfológicos, así como exploraciones, monitoreos y ensayos geotécnicos, para obtener una caracterización integral de los taludes críticos, la elaboración de su respectivo modelo geotécnico, calibrado con toda la información anterior y el análisis de estabilidad usando varios programas computacionales y en distintos escenarios, ajustado tanto en condiciones antes de los procesos de remoción en masa ocurridos entre el año 2012 y 2013, de la condición actual y posteriormente se integra toda esta información considerando los “factores de valuación” [4], tanto los dependientes de las características intrínsecas de la ladera, los asociados de las condiciones regionales del sitio, así como los involucrados en el cálculo de estabilidad.

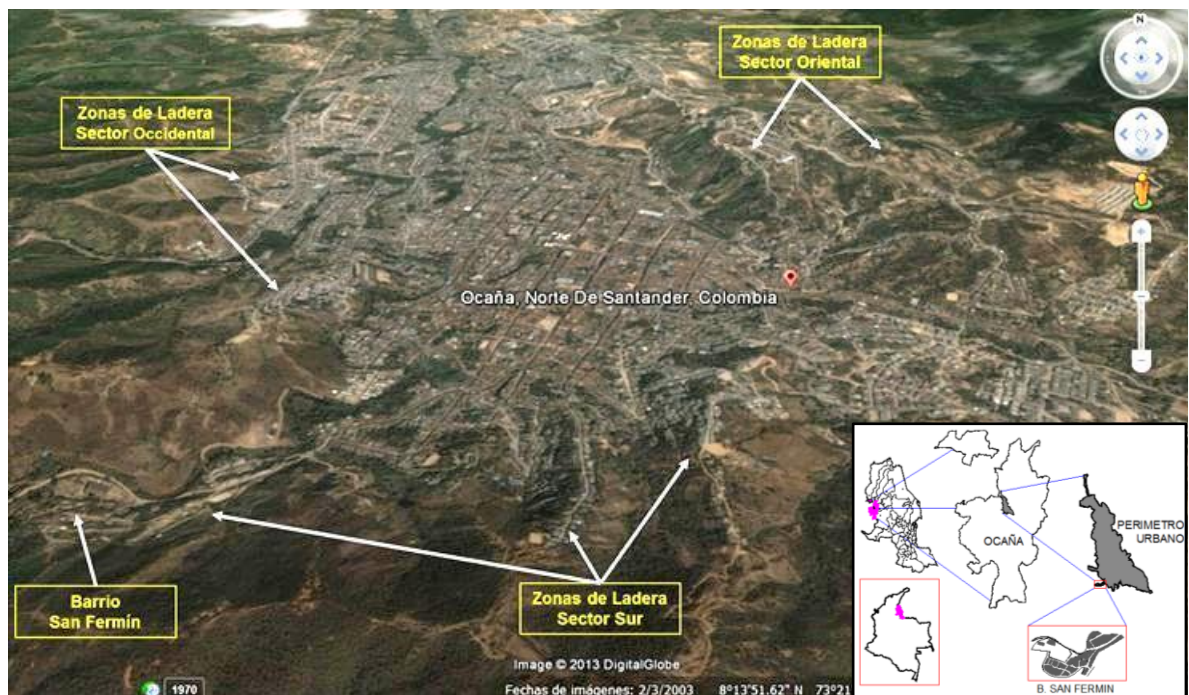
Finalmente se presenta un resumen de los factores evaluados, estimando su nivel de influencia en las condiciones de estabilidad de ladera (bajo, medio o alto), para establecer la necesidad de implementar obras de mitigación, acorde a cada factor estudiado.

# 1. GENERALIDADES

## 1.1 LOCALIZACION Y ACCESO DE LA ZONA DE ESTUDIO

La ciudad de Ocaña, Norte de Santander se encuentra localizada en la zona centro occidental del municipio, sobre las estribaciones de la cordillera oriental. La ciudad presenta zonas de ladera en sus flancos oriental y occidental, además de algunos barrios del sector sur de la ciudad, como es el caso del barrio San Fermín. Lo anterior se puede apreciar en la Figura 1.

**Figura 1.** Vista General ciudad de Ocaña.



Fuente. Google Earth – Autor.

El barrio San Fermín se ubica en el sector sur de la ciudad de Ocaña, Norte de Santander. La zona de estudio se localiza en las coordenadas 1'401.532 N y 1'078.905 E (8°13'35.05"N, 73°21'40.77"W) Es uno de los barrios más jóvenes de la ciudad, su área total es de 5.55 Ha, el área del sector de ladera donde se desarrolla el estudio es de 1.35 Ha. En la Figura 2 y Figura 3 se muestra la localización general y particular de la zona de estudio.

**Figura 2.** Localización particular de la zona de estudio.



Fuente. Google Earth.

**Figura 3.** Zona de Estudio.



Fuente. Autor.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo general.**

Analizar la problemática de inestabilidad de laderas y taludes de corte en un sector del barrio San Fermín de la ciudad de Ocaña mediante herramientas geológicas, geomorfológicas y geotécnicas, considerados dentro de los factores de valuación y su utilidad en la selección de medidas de mitigación estructural y de gestión riesgo.

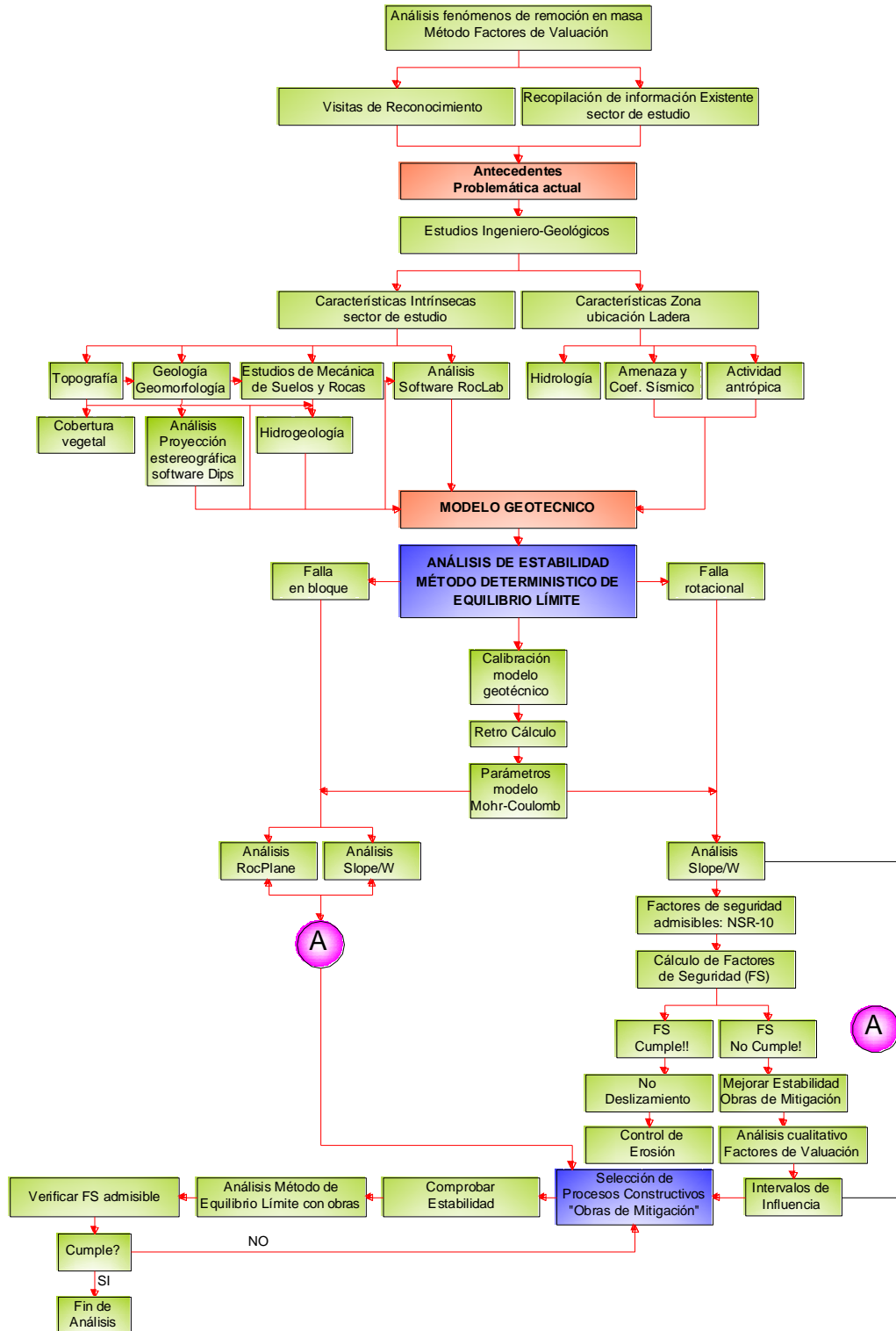
### **1.2.2 Objetivos específicos.**

- Realizar evaluación geológica y geomorfológica del sector de estudio.
- Efectuar exploración y ensayos geotécnicos.
- Realizar análisis determinístico de estabilidad taludes en el sector de estudio.
- Realizar Evaluación cualitativa de la estabilidad. Factores de valuación y sus intervalos de influencia.
- Seleccionar procesos constructivos de mitigación.

### **1.3 METODOLOGIA**

La metodología de trabajo es de vital importancia puesto que ofrece de manera secuencial las etapas o fases a desarrollar para implementar el método de los factores de valuación en el sector de estudio, permitiendo establecer los procesos constructivos adecuados para mejorar las condiciones de estabilidad de una ladera, “modificando ciertas condiciones que la hacen vulnerable” [4]. En la Figura 4 se muestra un diagrama de flujo que resume la metodología de análisis.

Figura 4. Diagrama de flujo etapas metodología de análisis.



Fuente: Autor.

#### **1.4 ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICA ACTUAL**

El barrio San Fermín ha sido conformado principalmente por familias desplazadas por el conflicto armado en la zona del Catatumbo, las cuales entre los años 1995 y 1996 empezaron a realizar invasiones en esta zona de la ciudad, en sus inicios se encontraban 20 familias, en la actualidad en todo el barrio se asientan alrededor de 200 familias. En el actual PBOT de Ocaña este barrio aún está calificado como barrio de invasión y la mayoría de sus predios no están legalizados. La ocupación se ha realizado desde entonces sin seguir un adecuado planeamiento y manejo de los terraceos en los cuales se han construido las viviendas. En un comienzo la mayoría de las construcciones eran de bahareque y los cortes para las terrazas eran de menor cuantía. Posteriormente en la medida que los pobladores iban mejorando su condición económica y aprovechando las épocas electorales, fueron remplazando paulatinamente las construcciones de bahareque por construcciones en mampostería. Ello ha conllevado a que se aumenten las áreas de las terrazas y por consiguiente los cortes en la ladera; cortes que al no tener un manejo adecuado y bajo la acción de otros factores (condicionantes y desencadenantes) se ha potenciado su condición de inestabilidad. En la Figura 5 y Figura 6 se muestra una panorámica de la zona de estudio en el año 2009 y 2013 respectivamente.

**Figura 5.** Sector de estudio en Octubre de 2009.



Fuente. Autor.

**Figura 6.** Sector de estudio en Junio de 2013.



Fuente. Autor.

Se puede apreciar el crecimiento de esta parte del barrio en un periodo de 4 años, pasando de tener 6 viviendas en la zona de la terraza media (sector más crítico) a 13 viviendas (con dos más en construcción en el pie del talud). Los cortes realizados a la ladera para las nuevas viviendas y mejoramiento de las existentes, han potenciado la ocurrencia de deslizamientos sucesivos en las temporadas lluviosas, conllevando a que la corona del talud en la terraza media (sector crítico) desde el año 2009 a la fecha, haya avanzado 4.2 m en el sector izquierdo, 5.4 m en el sector derecho y 9.6 m en el sector central. Es así como en el año 2013 el paramento de la vivienda de la parte superior del sector izquierdo del talud está a 4.8 m de la corona de este (estaba a 7 m en el año 2009). En la Figura 7, Figura 8, Figura 9 y Figura 10 se muestra el cambio descrito anteriormente.

**Figura 7.** Sector Talud derecho zona de estudio, abril de 2010.



Fuente: Autor

**Figura 8.** Sector Talud derecho zona de estudio, diciembre de 2013.



Fuente: Autor.

**Figura 9.** Sector de estudio. Parte central e izquierda, abril de 2010.



Fuente: Autor.

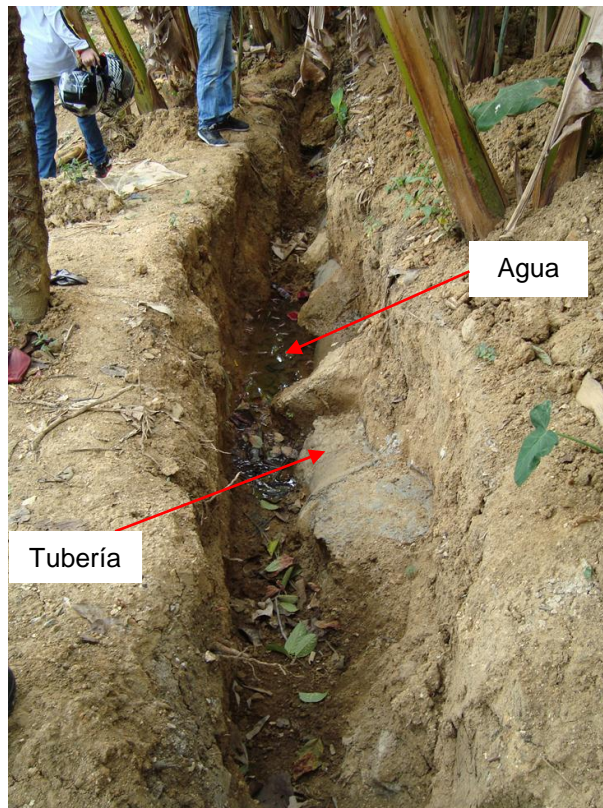
**Figura 10.** Sector de estudio. Parte central e izquierda, diciembre 2013.



Fuente: Autor.

En la actualidad el sector de la terraza media (donde se encuentran los taludes más críticos) se ve afectado adicionalmente por la constante filtración de aguas provenientes de una tubería de concreto de 16", que constituye la línea de aducción de una de las plantas que abastecen de agua potable la ciudad de Ocaña (Planta El Llanito). Esta tubería en el trayecto que cruza la parte alta de la ladera del barrio San Fermín tiene alrededor de 110 m, se encuentra a menos de 50 cm de la superficie del terreno, es una tubería muy deteriorada y por la acción de las raíces de los árboles que se insertan dentro de ella, tiene sectores presurizados (se han encontrado raíces de hasta 30 cm de diámetro y 6 m de longitud dentro de la tubería). En la Figura 11 se observa un tramo de la tubería en la parte alta del sector de estudio y el agua que se filtra fuera de ella.

**Figura 11.** Tubería de aducción planta El Llanito, de  $\phi=18"$  en concreto.



Fuente: Autor.

La situación anterior hace que en cerca de la parte derecha de la corona de los taludes en el sector crítico y la base de estos, aflore un caudal de agua considerable. En la Figura 12 se aprecia el agua proveniente de la tubería de aducción en la parte alta de los taludes y en la Figura 13 y Figura 14 la presencia de esta agua en las viviendas de base del talud.

**Figura 12.** Agua proveniente de la tubería de aducción. Parte alta de la ladera.



Fuente: Autor.

**Figura 13.** Presencia de agua en las casas del pie del talud.



Fuente: Autor.

**Figura 14.** Presencia de agua en las casas del pie del talud.



Fuente: Autor.

## 1.5 ESPECIFICACIONES EQUIPOS PARA REALIZACION DE SONDEOS

Se utilizó equipo para sondeo por percusión – SPT de propiedad del autor y equipo para sondeo por rotación de la empresa I.D.T INGENIERIA DEL TERRENO S.A.S. Las especificaciones de los equipos se resumen a continuación:

- Peso del martillo: 140 libras
- Altura de caída: 76 centímetros
- Penetración: 3 intervalos de 15 centímetros cada uno (6")
- N de diseño: Sumatoria de los golpes de los últimos 30 centímetros (12")
- Diámetro exterior del tubo: 50.8 mm
- Diámetro interior del muestreador en la punta: 34.93 mm
- Longitud del tubo: 75 centímetros
- Sistema de hincado: Malacate y polea
- Motor del equipo de rotación: Hacker 20 HP con transmisión sencilla.
- Tubería para perforación NQ y revestimiento NW.
- Motor del equipo de percusión. Dek 6 HP.

## **2. GEOLOGIA**

A continuación se mencionan los aspectos geológicos de los terrenos evaluados, desde el nivel regional al local, con base en la información técnica oficial disponible y los trabajos de campo geológico-geotécnicos puntuales.

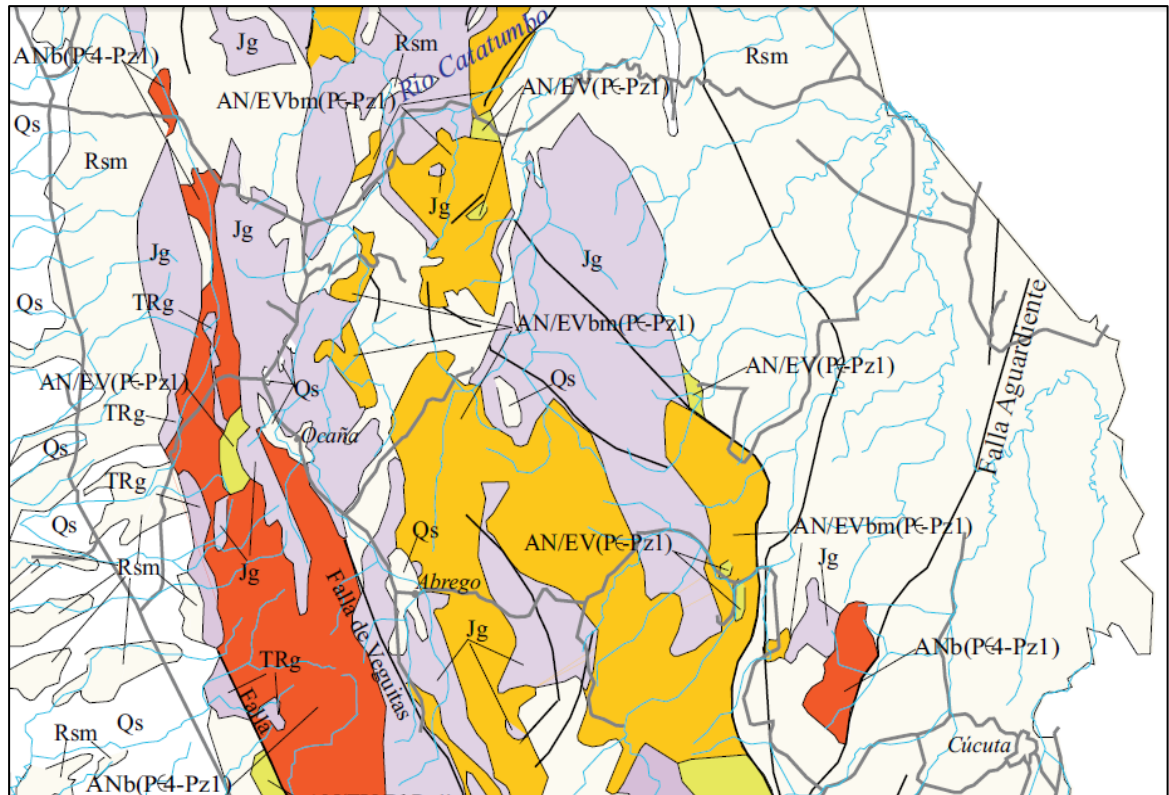
### **2.1 MARCO GEOTECTONICO REGIONAL**

Regionalmente la zona de estudio se localiza en la esquina Noroccidental de América del Sur, haciendo parte del denominado Bloque Andino de Colombia, Cordillera Oriental de Colombia, conformado al occidente y sur por bloques tectónicos de rocas metamórficas de alto a bajo grado del Proterozoico hasta el Paleozoico (complejo paraneis de Bucaramanga, Formación ortoneis y Formación Silgará), y por rocas ígneas del Triásico al Jurásico, como plutones elongados siguiendo la orientación cordillerana NW (Figura 15 y Figura 16).

El Cretáceo y el Cenozoico están representados aquí por dos ambientes distintos tectónicos y sedimentarios. Las rocas cretácicas (colores verdes en la Figura 15) son areniscas marinas, lutitas y calizas, mientras que las rocas cenozoicas son areniscas fluvio-deltaicas y lutitas, cartografiadas con colores de la gama de amarillos en el mapa.



**Figura 16.** Esquema regional que ubica geológicamente a Ocaña y Abrego, fundadas sobre rocas ígneas, de colores rojo y fucsia, del Triásico y Jurásico, respectivamente; en mostaza rocas metamórficas del Precámbrico al Paleozoico.



Fuente: INGEOMINAS [6].

## 2.2 GEOLOGIA LOCAL

Los materiales que conforman las laderas naturales, taludes de corte y terrazas de fundación de las viviendas periféricas de Ocaña pertenecen a cuerpos ígneos plutónicos del Batolito de Ocaña, conformado por rocas de composición granitoide del Jurásico Superior.

Así geológicamente hablando Ocaña pertenece al Complejo Intrusivo-Extrusivo (Jci), con rocas distribuidas en inmediaciones de la ciudad, con amplitud hacia el

norte y oriente, y hasta Abrego [7]. La plancha 76 Ocaña dice en la leyenda que hay cuarzomonzonita de grano fino a grueso, con etapas de volcanismo efusivo-explosivo de carácter ácido; la composición varía de granito a cuarzomonzonita, con zonas pegmatíticas [7].

Las inspecciones aquí realizadas en área urbana de Ocaña indican que se trata de rocas ígneas plutónicas, holocristalinas félsicas y de textura fanerítica (con cristales de tamaño de grano medio, de 1 a 5 mm), representadas por granitos, cuarzomonzonitas y granodioritas, compuestas por: feldespatos potásicos (microclina, sanidina), en porcentajes cercanos al 50%, y en menor proporción plagioclasas sódicas (albita), anfíboles (hornblenda), micas (biotita) y cuarzo (por debajo del 10%), según la Figura 17 y Figura 18.

**Figura 17.** Afloramiento de materiales ígneos de composición general granitoides, en el sector sur de Ocaña. Nótese su carácter masivo, la meteorización de las plagioclasas (manchas blancas de caolinita), los minerales ferromagnesianos (oxidados y más oscuros) y la presencia de fracturas y diques delgados [8].



Fuente: Autor.

**Figura 18.** *Superior:* detalle de la litología masiva y dura, cubierta por costras de meteorización oscuras; *inferior:* minerales más alterados, con caolín, sericita y óxidos férricos, en el barrio San Fermín (Ocaña).



Fuente: Autor.

Hay locales filones de pegmatita (Figura 19), con espesores de unos milímetros a máximo una decena de centímetros, con solo cuarzo lechoso microcristalino y masivo, o con feldespato potásico blanco (microclina) y abundantes porfidoblastos de muscovita, de origen hidrotermal. También se presentan diques de anfibolita, fino granular, masiva y de color verde oscuro, quizá asociadas a rocas metamórficas del basamento.

**Figura 19.** Detalle de filón pegmatítico, duro y fracturado, con abundante cuarzo y micas.



Fuente: Autor.

No es común encontrar estas rocas frescas (con resistencia alta al martillo), sino con una meteorización moderada a alta, en la cual los feldespatos potásicos se alteran a sericita y las plagioclasas típicamente a caolinita, cuyos colores típicos

son blanquecinos a beige, mientras que los minerales ferromagnesianos producen óxidos férricos que dan las tonalidades oscuras (amarillentas a pardo-rojizas).

Se presentan entonces suelos residuales in situ (regolitos), de consistencia media, gravosos a granulares finos (areno-limosos), de apariencia arenosa por la presencia de fragmentos de feldespatos y cuarzo producto de la meteorización física. Sus espesores varían entre 50 y 70 cm. Son evidentes superficialmente niveles orgánicos (horizonte O), de colores pardo-oscuros.

### **2.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL Y NEOTECTÓNICA**

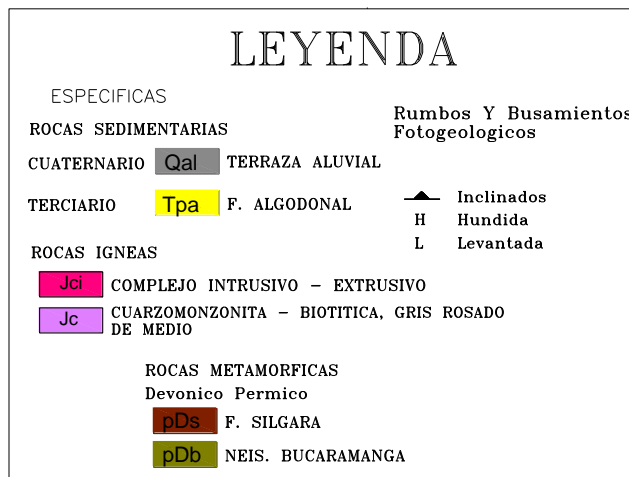
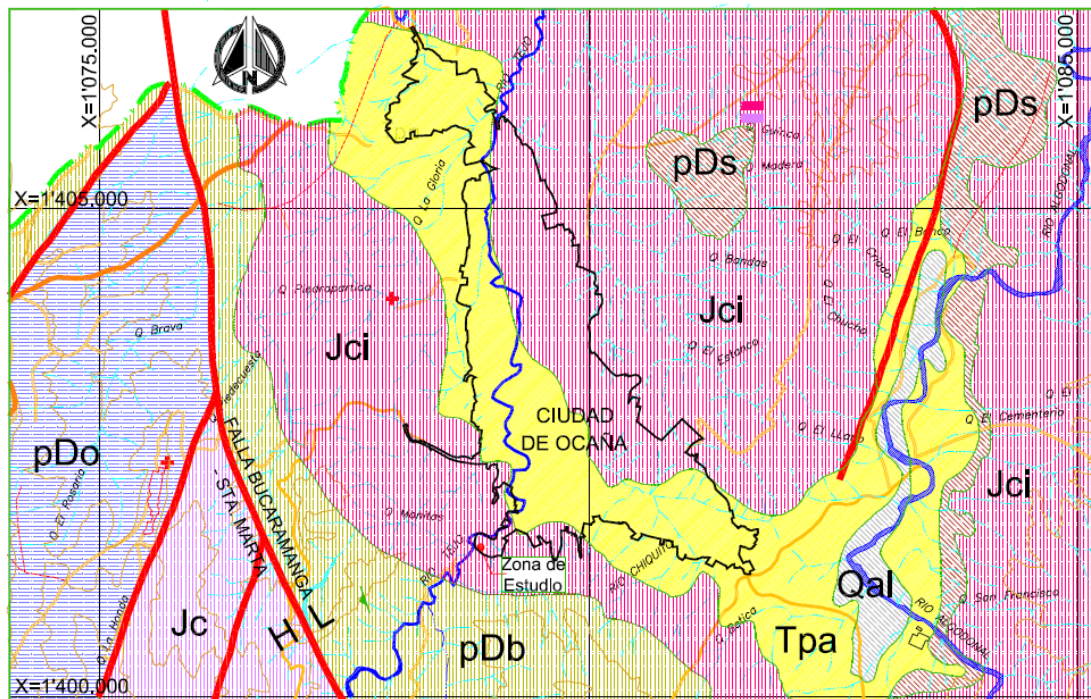
Las estructuras geológicas más importantes en la región de Ocaña tienen una dirección de NNW (N10W a N30W) y forman parte del sistema de fallas de Bucaramanga, el cual tiene importancia regional en el contexto tectónico del nororiente colombiano [9].

El sistema de fallas de Bucaramanga corre a lo largo del flanco occidental de la cordillera oriental. Al norte de Bucaramanga la falla se divide en dos trazas principales: la falla de Bucaramanga que va por el frente montañoso y la falla de El Carmen que penetra a la zona cordillerana y adicionalmente por otras fallas más cortas y subparalelas; el conjunto de fallas geológicas tiene un área de influencia y deformación sobre los macizos rocosos de varios kilómetros de ancho [9].

Las fallas tienen expresión geomorfológica clara a través de tramos rectilíneos nítidos, control de drenajes y son también observables en imágenes de satélite; resalta en esa imagen la traza rectilínea y de expresión geomorfología fuerte de la falla de Bucaramanga- El Carmen, que pasa muy cerca y al occidente de la ciudad de Ocaña, la cual es de tipo inverso y buzando al occidente. La otra traza del

sistema, en la región de Ocaña, corre por el frente montañoso y pone en contacto rocas del macizo Santander con sedimentos de cuaternario, presentes en el valle del Magdalena [9]. En la Figura 20 se aprecian las unidades litoestratigráficas y estructuras.

**Figura 20.** Mapa geológico y estructural.



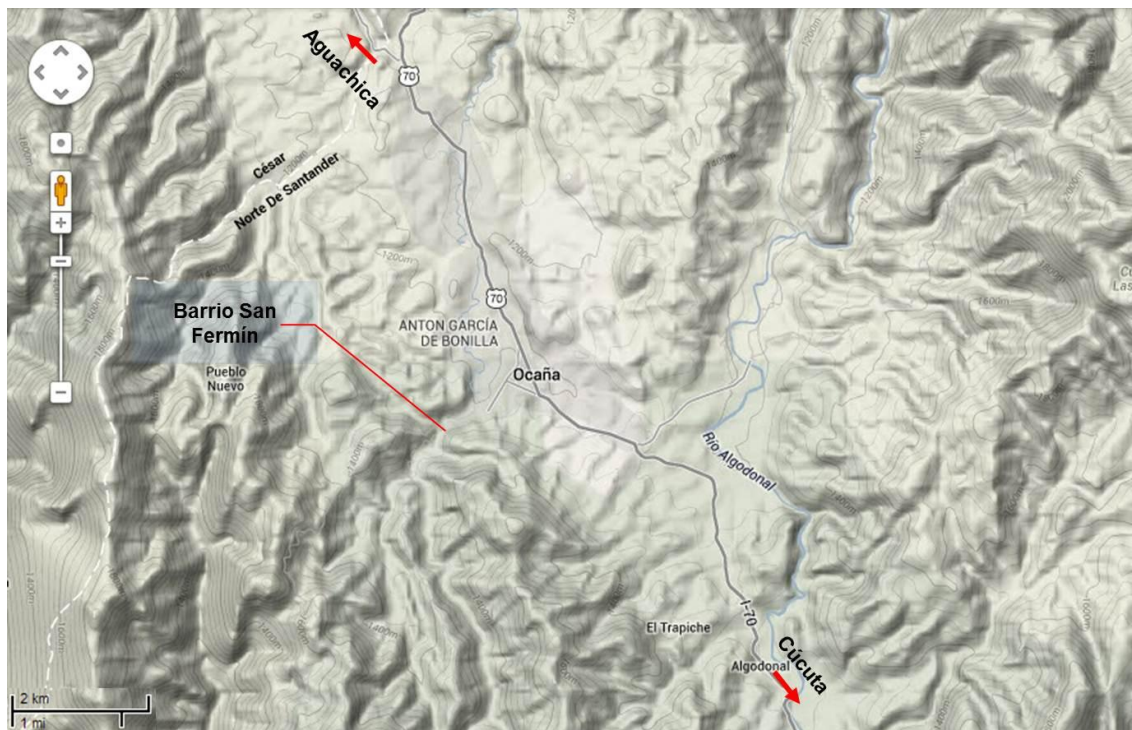
Fuente: Adaptado de [9]

## 2.4 GEOMORFOLOGIA GENERAL

La ciudad de Ocaña, Norte de Santander, se localiza en la Unidad Fisiográfica o Provincia Geomorfológica Cordillera Oriental (Figura 21), sobre la subcuenca del río Catatumbo, con régimen fluvial drenando al nororiente, hacia la Cuenca del Lago de Maracaibo, Venezuela.

Dicha unidad fisiográfica se divide a nivel urbano en dos unidades de paisaje: La Unidad de Paisaje Valle Aluvial (aluvial y de terrazas, fuera del sector en consideración) y la Unidad de Paisaje Piedemonte, a la cual pertenece la unidad de geomorfológica denudacional estudiada en el barrio San Fermín.

**Figura 21.** Imagen con la ubicación general de Ocaña, población fundada sobre Unidad Fisiográfica Cordillera Oriental, según imagen Landsat (fecha de toma: 2-3-2003).



Fuente: Google Maps.

### 3. SINTESIS TEORICA DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

“En cualquier parte de la superficie terrestre la gravedad <<empuja>> continuamente los materiales hacia niveles inferiores.” [10]. En general no solo la gravedad es el principal factor que potencia los movimientos producidos en los taludes, (desde una perspectiva más amplia se tratarán como fenómenos de remoción en masa – FRM), existen otra diversidad de factores asociados a las características intrínsecas de una ladera y de la región en la que esta se ubica [11], que en la literatura se conocen como factores condicionantes y desencadenantes, que en general los podemos agrupar en factores naturales y actividad humana [10].

Es importante establecer la influencia del tipo de material presente en la ladera, en la clase de inestabilidad que puede producirse. Es así como los terrenos en los que se desarrollan los FMR, pueden caracterizarse en tres grupos: Macizos rocosos, Suelos y Materiales de relleno. El comportamiento de un macizo rocoso, “generalmente depende de las características de las discontinuidades (estratificación, diaclasas, fallas, esquistosidad, líneas de debilidad, etc.) que presenta, así como de la litología de la roca matriz y su historia evolutiva” [10]. Aun cuando en los macizos las fallas suelen seguir superficies preexistentes, en ocasiones cuando están muy fracturados pueden presentar superficies de corte similares a las que ocurren en suelos. En el caso de los suelos su comportamiento se asemeja al de un medio continuo y homogéneo. “Las superficies de falla se desarrollan en su interior, sin seguir una dirección preexistente” [10]. Su clasificación y su comportamiento debe analizarse según sea su génesis: *residuales* o *transportados*. En los rellenos su comportamiento es semejante al de materiales tipo suelo, con superficies de falla semejantes condicionadas en ciertos casos por contactos de materiales de diferentes características utilizados en la construcción del relleno o su conformación sobre laderas [10].

## 2.5 LOS SUELOS RESIDUALES

Los suelos residuales son suelos que se desarrollan *In Situ* como consecuencia de la acción de procesos físicos y químicos (meteorización) e incluso biológicos sobre la roca y sus minerales, dando lugar al material parental (saprolito) que por procesos de pedogénesis da origen al suelo (horizontes) [12]. Estos procesos dan origen a lo que se denomina perfil de meteorización (característica intrínseca de un suelo residual). “La meteorización es un preludio de los procesos de erosión, movimientos de masa y transporte de materiales, no es que sea requisito obligatorio, pero si favorece la actividad de estos procesos en la corteza terrestre” [12].

### 3.1.1 Perfil de meteorización.

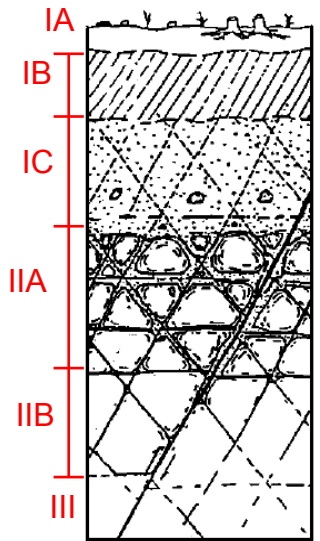
Lo constituyen los materiales alterados (que hacen parte del regolito<sup>2</sup>) generados a partir de la roca fresca. Este no es uniforme en profundidad pudiéndose establecer zonas de acuerdo al grado de meteorización [12]. Esta variabilidad vertical, en el caso de rocas ígneas y metamórficas, las definen condiciones particulares como foliación de granos y minerales, esfuerzos cortantes a que han sido sometidas y zonas de intrusión. Dicha variabilidad se da “en términos de la distribución por tamaño de partículas, la composición elemental, la mineralogía, propiedades físicas como la densidad aparente, la conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) y los límites de Atterberg, la resistencia al esfuerzo cortante y otras propiedades mecánicas de interés geotécnico” [12]. Este perfil de meteorización es definido por varios autores como una sucesión de capas u horizontes. Uno de estos sistemas de clasificación del regolito formado en rocas ígneas y metamórficas es el de Deere y Patton, 1971 [13], aplicado para el presente estudio (ver Tabla 1). Para el caso de suelos provenientes de rocas

---

<sup>2</sup> Regolito: Todos los materiales por encima de la roca fresca [12]

ígneas lo que se presenta frecuentemente es un perfil con suelo en la superficie, luego el saprolito y posteriormente las rocas alterada y sana [14], como ocurre en Ocaña.

**Tabla 1.** El perfil de meteorización en rocas ígneas y metamórficas, según Deere y Patton (1971) [13].

	SUELO RESIDUAL	HORIZONTE IA. Eluviación
		HORIZONTE IB. Iluviación.
		HORIZONTE IC. Saprolito.
ZONA DE TRANSICION	HORIZONTE IIA. Transición	
	HORIZONTE IIB. Parcialmente meteorizada	
ROCA SANA	HORIZONTE III. No meteorizada.	

Fuente: Adaptado de [13].

“Las rocas ígneas intrusivas ácidas (con gran contenido de cuarzo) como el granito, forman perfiles profundos, arenos arcillosos, mientras las rocas ígneas básicas (poco cuarzo) forman perfiles menos profundos y más arcillosos” [14].

Los perfiles de meteorización en zonas de alta pendiente son poco profundos con mayor presencia de materiales granulares, en tanto que en las de menor pendiente el perfil es más profundo con mayor presencia de materiales arcillosos. De esta manera se pueden presentar deslizamientos menos profundos de tipo traslacional en las zonas de pendiente alta, y rotacionales o compuestos en las de pendiente suave.

### **3.1.2 Deslizamientos en suelos residuales.**

“La mayoría de deslizamientos de suelos residuales son los deslizamientos poco profundos y rápidos del suelo residual sobre el saprolito (Roca algo meteorizada) o la roca, pero cuando los perfiles de meteorización del suelo residual son muy profundos, se pueden presentar también deslizamientos rotacionales [14]”. Estos deslizamientos se ven facilitados por la disposición, a manera de capas, de materiales de diferente competencia [13], lo cual está relacionado con lo descrito en el numeral 3.1.1. Adicionalmente en los suelos residuales se presentan estructuras heredadas de la roca que le dio origen, como es el caso de las juntas o diaclasas, estas se constituyen en discontinuidades que inciden en la falla de los taludes. “Las superficies de falla pueden coincidir con una junta o pueden comprender varias familias de juntas diferentes formando bloques deslizantes”. “Las discontinuidades en el suelo residual pueden originar superficies de falla complejas de acuerdo con su localización y característica” [14]. Favorecidas por estas discontinuidades se pueden presentar roturas planares o superficies poligonales de falla formadas por varios tramos planos [13].

En algunos casos se presentan intrusiones de materiales de mayor dureza bastante fracturados y con mayor tamaño de grano, conformando zonas más permeables que pueden servir de facilitadoras de los deslizamientos [14].

## **2.6 TIPOS DE DESLIZAMIENTOS**

La inestabilidad de taludes abarca una serie de mecanismos de falla que se producen en diferentes materiales, siendo importante el reconocimiento y clasificación del tipo de movimiento pues este puede determinar el análisis a realizar y las medidas de estabilización a implementar. Estos tipos de movimiento

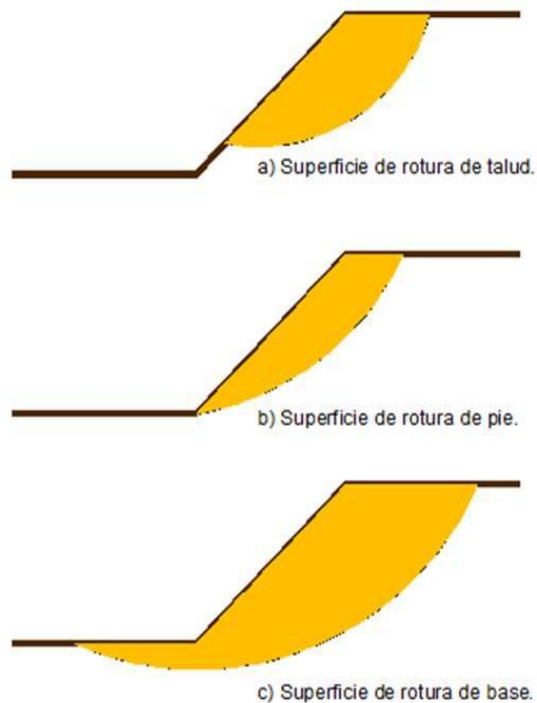
para el caso de los deslizamientos se describen, de manera muy general, a continuación.

### 3.2.1 Deslizamientos rotacionales.

Tienen lugar a lo largo de una superficie de falla interna, con forma circular y cóncava. El movimiento es de naturaleza más o menos rotacional, alrededor de un eje dispuesto paralelamente al talud [10]

Se pueden presentar tres tipos de falla rotacional: a) superficie de rotura de talud, b) superficie de rotura de pie de talud y c) superficie de rotura de base de talud (ver Figura 22). Estos se pueden presentar tanto en suelo como en macizos rocosos muy fracturados.

**Figura 22.** Diferentes superficies circulares de rotura.



Fuente: Adaptado de [10].

### **3.2.2 Deslizamientos traslacionales.**

“En este tipo de movimiento la masa deslizada se desplaza hacia afuera y hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o suavemente ondulada. Normalmente el movimiento de la masa deslizada hace que ésta se ubique sobre la superficie original del terreno. Es común que estos deslizamientos estén controlados por discontinuidades (estratificación, diaclasas, fallas, esquistosidad, etc.), influyendo la variación de la resistencia al corte entre estratos de diferente naturaleza, diferente grado de meteorización, tipo de relleno de las discontinuidades, etc.” [10]. Se pueden distinguir dos tipos de deslizamientos traslacionales: a) deslizamiento quebrado: En la masa deslizada existente varias unidades seudoIndependientes y b) deslizamiento tipo bloque: La masa deslizada consta de una unidad no muy deformada o varias unidades estrechamente relacionadas [10]. Es importante recalcar que estos movimientos tienden a tener un progreso indefinido en tanto la superficie del deslizamiento sea suficientemente grande y la resistencia al corte inferior a las fuerzas desestabilizadoras [10].

**Este tipo de deslizamientos se puede presentar en el contacto suelo-roca de meteorización), en suelo (contacto de materiales de diferente naturaleza) un macizo rocoso (ver**

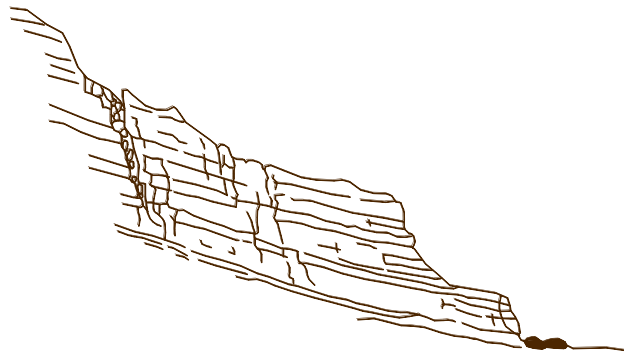
Figura 23).

### **3.3 METODOLOGIAS DE ANALISIS**

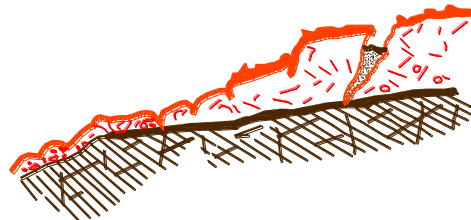
Los análisis de estabilidad de taludes permiten la identificación de niveles de amenaza por deslizamientos, esta a su vez es utilizada para la determinación de niveles de riesgo por la ocurrencia de deslizamientos. Bajo esta concepción las metodologías de análisis para estabilidad de taludes pueden abordarse desde dos

grupos: Métodos cualitativos y métodos cuantitativos; *aun cuando algunos métodos evalúan en forma combinada (cualitativa y cuantitativamente) la influencia de factores que afectan la estabilidad de las laderas, tal es el caso del método de los Factores de Valuación que se describe en el Anexo A.*

**Figura 23.** Casos de deslizamientos traslacionales.



a) Deslizamiento traslacional en macizo rocoso.



b) Deslizamiento traslacional en el contacto suelo-roca.



c) Deslizamiento traslacional en suelo.

Fuente: Adaptado de [10]

### 3.3.1 Métodos cualitativos.

Cuando se determina la susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos basándose en la evaluación de cartografía, geomorfología, hidrología, geología, morfometría, identificación y localización de deslizamientos ocurridos (inventario) y procesos asociados a estos directamente en el terreno. Es así como la persona que realiza la evaluación extrae unos criterios para la determinación de áreas potencialmente inestables y para la realización de mapas de susceptibilidad a deslizamientos, basándose también en las relaciones entre los diversos factores evaluados y su influencia esperada en la generación de deslizamientos. Con estos métodos es posible extrapolar los resultados a zonas sin deslizamientos con una combinación de factores similar. Se tienen métodos indirectos como los heurísticos y probabilísticos y directos como los geomorfológicos [15].

### **3.3.2 Métodos cuantitativos.**

Estos métodos básicamente son de tipo determinístico y se utilizan para el estudio de una ladera o talud particular. Se fundamentan en métodos de equilibrio límite y métodos de cálculo en deformaciones (método de los elementos finitos u otros métodos numéricos) [10]. En estos los datos de entrada se obtienen mediante ensayos de laboratorio y permiten determinar el factor de seguridad de la ladera (en forma directa en los de equilibrio límite y mediante una reducción gradual de los parámetros de resistencia al cortante  $c'$  y  $\phi'$  del suelo induciendo una falla del análisis [14]), “que se define como el cociente entre la resistencia al corte en la superficie de deslizamiento y la necesaria para mantener el equilibrio estricto de la masa deslizante” [10]. El análisis se puede realizar en condición estática o pseudoestática [15].

En los métodos de equilibrio límite se determina el factor de seguridad de la ladera o talud para la superficie analizada teniendo en cuenta las ecuaciones (1) y (2):

$$F.S. = \frac{\sum \text{Resistencias disponibles al cortante}}{\sum \text{Esfuerzos al cortante (Resistencia Requerida)}} \quad (1)$$

$$F.S. = \frac{\sum \text{Momentos resistentes disponibles}}{\sum \text{Momentos actuantes}} \quad (2)$$

Los métodos de equilibrio límite se listan a continuación (para mayor detalle de cada uno de ellos se recomienda consultar las referencias [10] y [14]):

- a) Método simplificado de BISHOP (1955)
- b) Método ordinario de FELLENIUS (1927)
- c) Método de JANBU (1954)
- d) Método de MORGENSTERN-PRICE (1965)
- e) Método de SPENCER (1967).

Para el caso de los métodos basados en el cálculo de deformaciones se tienen (para mayor detalle consultar las referencias [10] y [14]):

- a) Elementos finitos (FEM).
- b) Diferencias finitas (FMD)
- c) Elementos distintos o discretos (DEM).
- d) Elementos de borde (BEM)

## **4. CARACTERIZACIÓN GEOLOGICO-GEOTÉCNICA DEL SECTOR DE ESTUDIO**

Con el objeto de determinar las características intrínsecas del sector en estudio y establecer el modelo geotécnico para el análisis de estabilidad se realizaron estudios topográficos, geológicos, de mecánica de suelos y rocas, toma de datos estructurales, ensayos de campo y laboratorio, y otros requeridos para la aplicación de la metodología de los factores de valuación como sismológicos, climatológicos, hidrológicos y de impacto de la actividad humana.

### **4.1 TOPOGRAFÍA DETALLADA**

En el desarrollo del levantamiento topográfico se realizó una nube de puntos en toda el área de estudio, detallando la vegetación existente, construcciones y zonas de inestabilidad (sitios críticos). Se incluyeron en forma detallada 6 secciones transversales.

La topografía se realizó mediante el uso de una estación total marca Sokia con medición electrónica de distancias de 2,400 metros con 1 prisma en condiciones atmosféricas favorables con una resolución de 1 décima de milímetro, corrección interna de la refracción y curvatura de la tierra, corrección atmosférica y constante de prisma. Este equipo genera las coordenadas de cada punto radiado y su respectiva altura, datos que fueron almacenados y posteriormente descargados en archivos de trabajo para generar el modelo digital del terreno y demás información requerida. Se determinó el amarre topográfico (geoposicionamiento) mediante Navegador GPS Garmin Etrex, con precisión métrica. El origen de coordenadas

planas es según el Datum Magna Sirgas Bogotá, sistema de proyección cartográfica conforme a Gauss-Krüger así<sup>3</sup>:

Origen: Bogotá Magna.

Latitud Origen: 4° 35' 46.32150" N.

Longitud Origen: 74° 04' 39.02850" W.

Falso Norte: 1000000.

Falso Este: 1000000.

Factor de Escala: 1.000000000.

Unidad de Medida: Metro Internacional.

Modelo Geoidal: Geocol 2004.

El área del sector de estudio fue de 15372.88 m<sup>2</sup>, delimitado por las coordenadas planas: 1'401.593 y 1'401.451 metros Norte; 1'078834 y 1'078.993 metros Este.

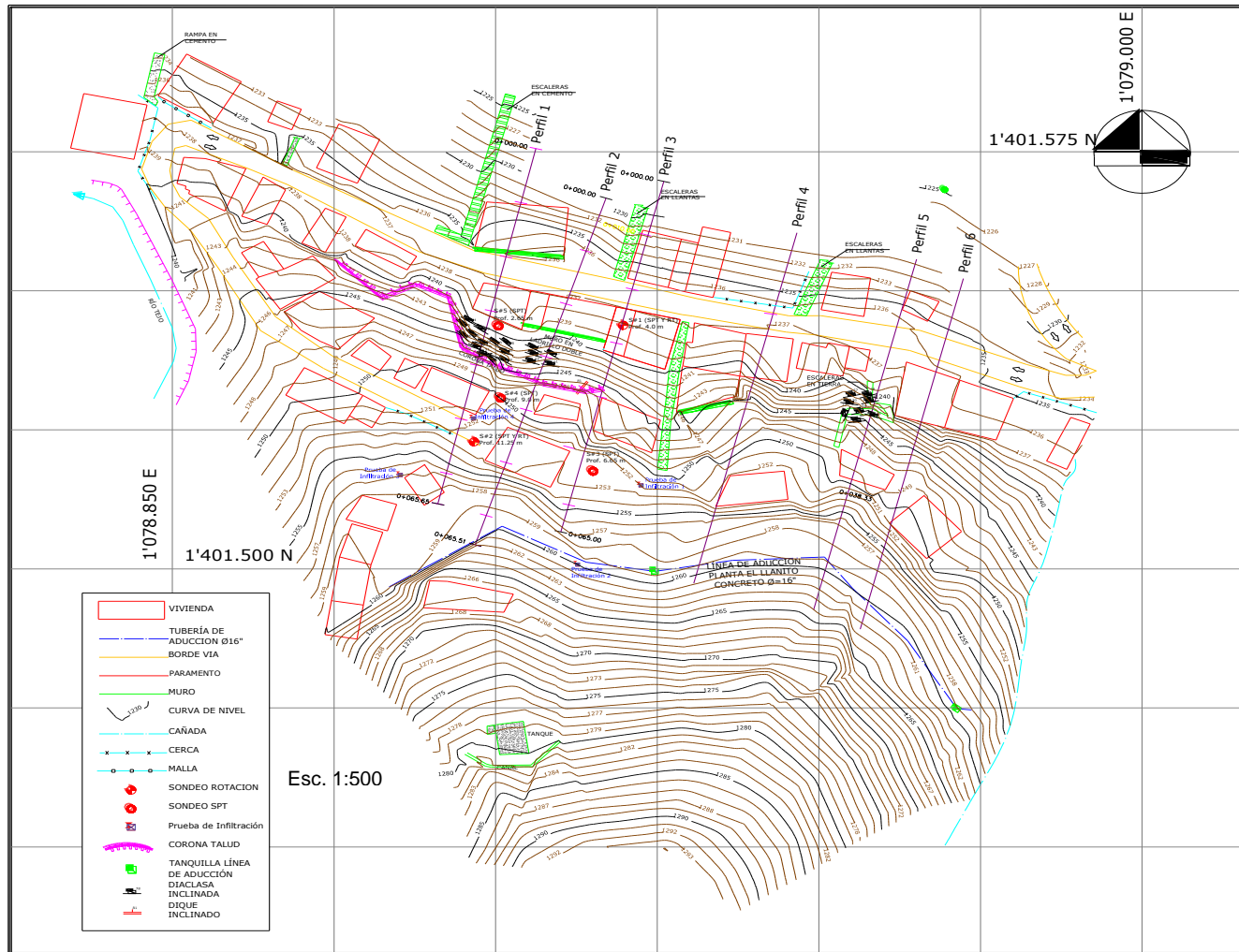
En el Anexo B se muestra la cartera topográfica y se incluyen los perfiles 4, 5 y 6.

En la Figura 24 se muestra la topografía del sector de estudio y en la Figura 25, Figura 26 y Figura 27 se muestran las tres secciones transversales más críticas, en estas se superpone el perfil del talud en el año 2010.

---

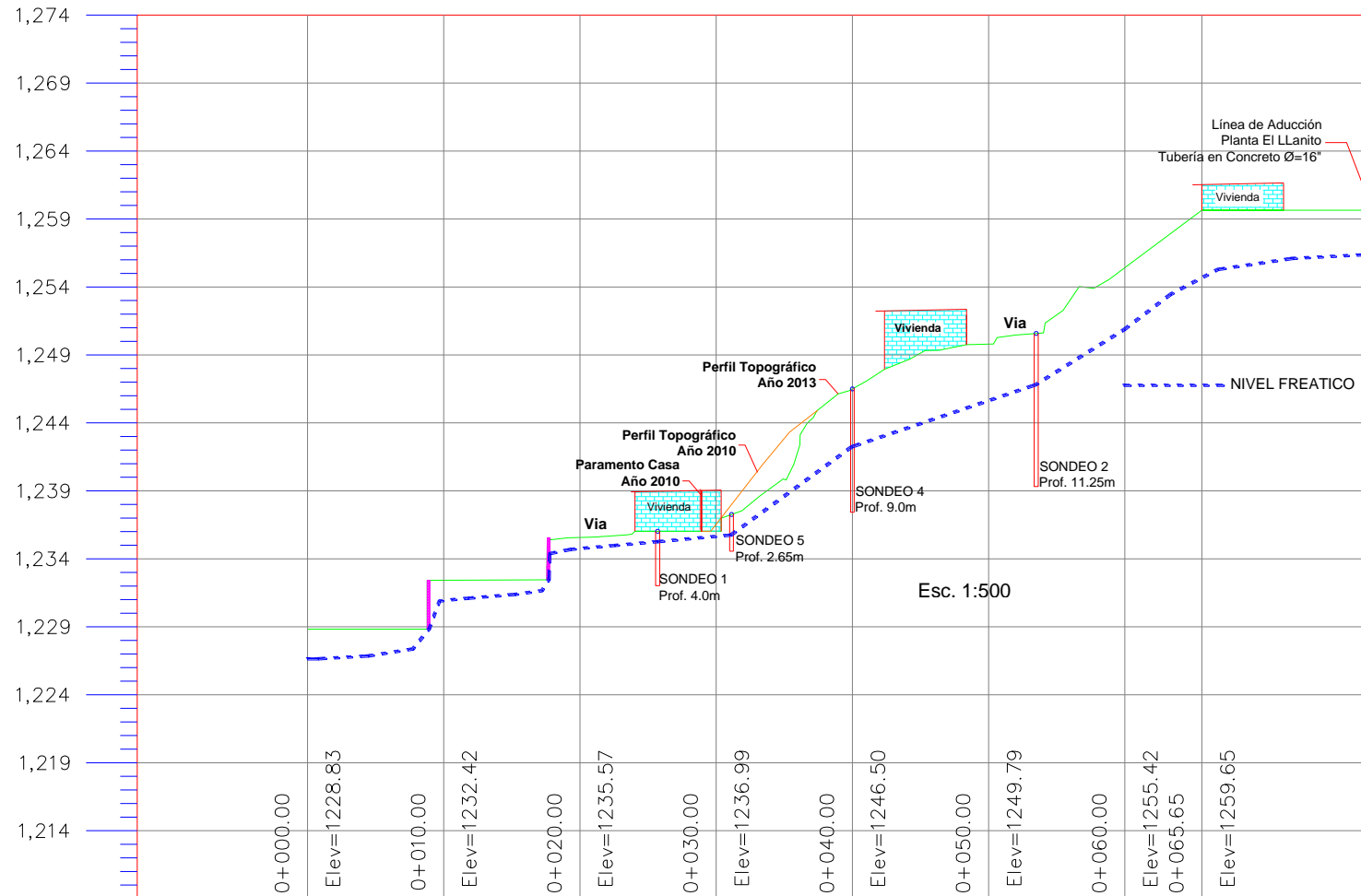
<sup>3</sup> Reyes M., G. A. (2012). Estudios topográfico, geológico, geotécnico y de amenazas naturales del predio La Fortuna A, municipio de Fusagasugá (Cundinamarca). Fusagasugá, diciembre de 2012, 44p.

Figura 24. Levantamiento topográfico sector de estudio.



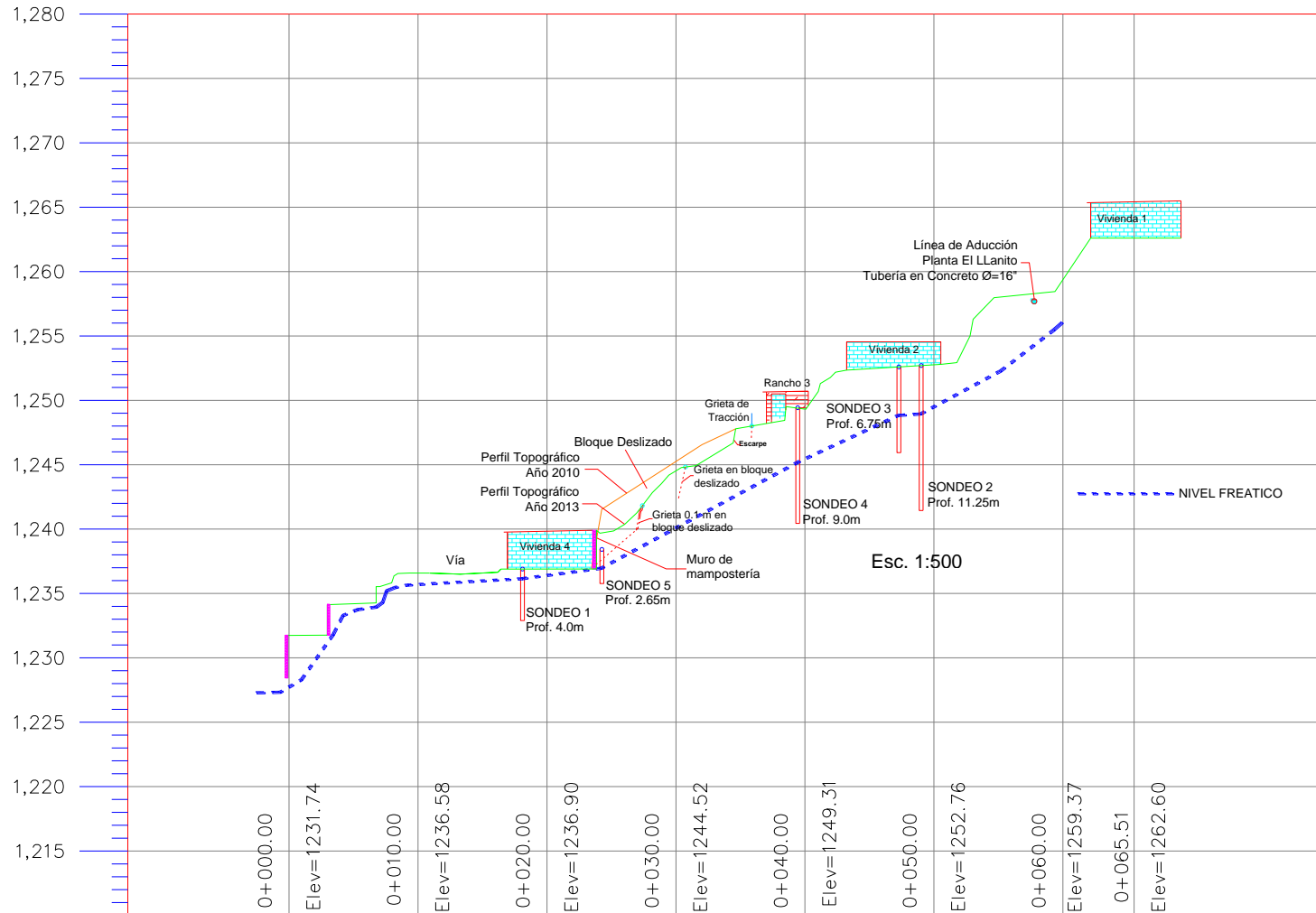
Fuente: Autor.

**Figura 25.** Sección transversal 1. (Perfil sector izquierdo talud crítico).



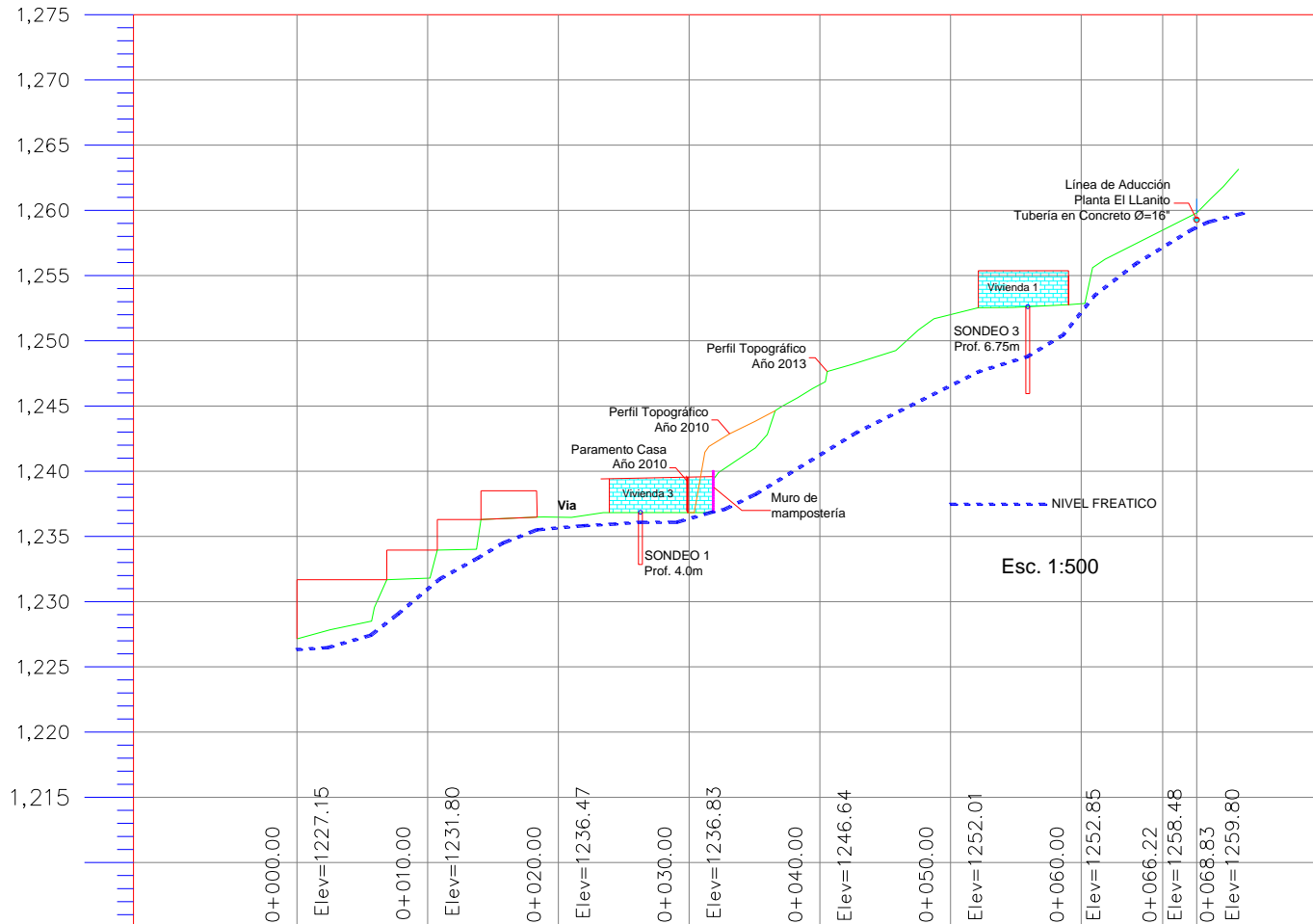
Fuente: Autor

**Figura 26.** Sección transversal 2 (Perfil sector central talud crítico)



Fuente: Autor

**Figura 27. Sección transversal 3 (Perfil sector derecho talud crítico)**



Fuente: Autor.

## 4.2 ESTRATIGRAFIA

Los geomateriales que constituyen los taludes en el sector de estudio, hacen parte de la formación ígneo conocida como el Complejo Intrusivo-Extrusivo (Jci).

### 4.2.1 Complejo intrusivo-extrusivo (Jci)

El perfil estratigráfico se definió a partir de la observación directa de un afloramiento en el área de estudio, en un corte vertical de aproximadamente 3.5 m de altura, se observa la roca ígnea y su perfil de suelo desarrollado en la parte superior (ver Figura 49). Existen localmente una serie de depósitos arcillosos de tipo antrópico, identificable por la presencia de materiales plásticos y esparcidos de forma irregular sobre la ladera, posiblemente debidos a movimiento de material para la construcción de otra vivienda en la parte superior. La descripción litológica (ver numeral 2.2) detallada de los materiales se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Descripción litológica.

HORIZONTE	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
<b>Suelo Residual (Horizontes IA, IB y IC - ver Tabla 1)</b>	Suelo arcilloso de color pardo oscuro con inclusiones de materia orgánica, y raíces, en menor proporción con clastos de la roca parental. Espesor relativamente homogéneo entre 1 y 1.5 m.
<b>Roca ígnea (Horizontes IIA y IIB – ver Tabla 1)</b>	Roca cristalina con textura fanerítica, donde se reconocen a simple vista sus minerales primarios como la biotita, cuarzo y plagioclasa pero alterados. Presenta pequeñas fracturas rellenas de silicatos. El grado de meteorización que la afecta es moderado a alto.

Fuente: (Gallardo, Guerrero y Macgregor 2013, p.6)<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Gallardo R., Guerrero T y Macgregor A. Investigación geotécnica para la estabilización de las laderas del barrio San Fermín, municipio de Ocaña, departamento de Norte de Santander – Colombia. Revista INGE CUC. Volumen 9, No.2 (Diciembre, 2013), ISSN 0122-6517

**Figura 28. Detalles afloramiento en el sector de estudio.**



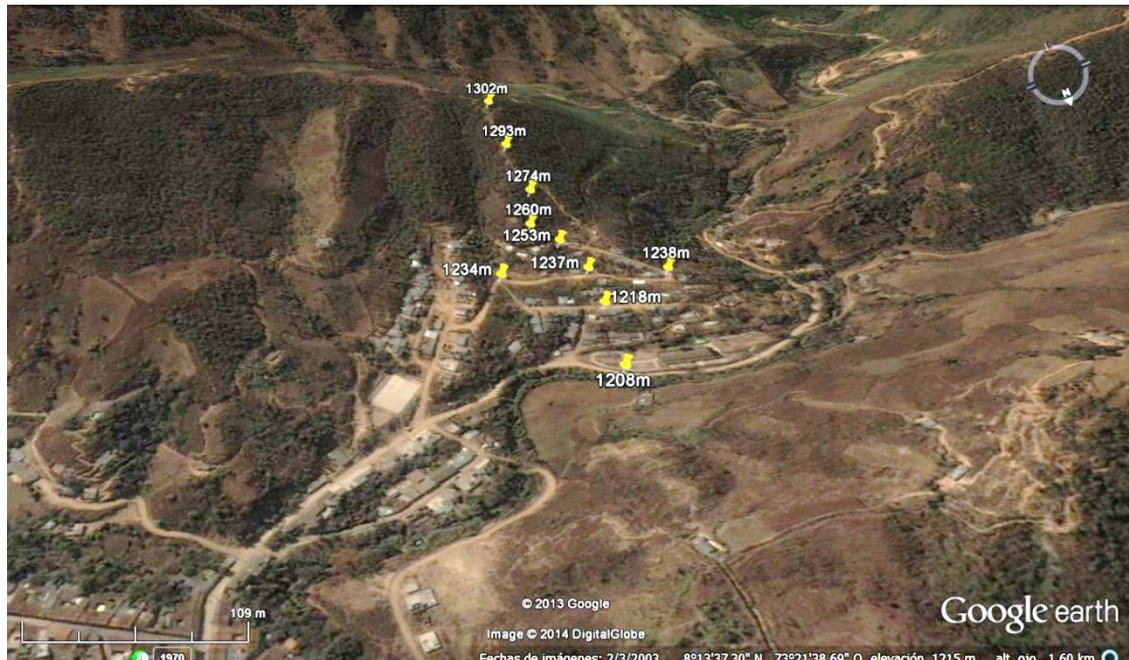
Fuente: Autor.

### 4.3 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

Como se mencionó anteriormente, la Unidad Fisiográfica Cordillera Oriental se divide a nivel urbano del municipio de Ocaña en dos unidades de paisaje: La Unidad de Paisaje Valle Aluvial (aluvial y de terrazas, fuera del sector en consideración) y la Unidad de Paisaje Piedemonte, a la cual pertenece la unidad de geomorfológica denudacional estudiada en el barrio San Fermín.

La consideración de sensores remotos de dominio público y las inspecciones de campo efectuadas permiten determinar que estos terrenos evaluados con detalle oscilan altitudinalmente entre 1208 y 1302 msnm, con una temperatura promedio urbana de 22 °C y en un piso térmico templado. En la Figura 29 se muestra un imagen detallando los controles morfométricos.

**Figura 29.** Imagen remota (fecha el 2-3-2003) muestra los controles morfométricos (en taches amarillos), aparece el barrio San Fermín, Ocaña.



Fuente: Google Earth – Autor.

En seguida se describen las geoformas constitutivas.

#### **4.4.1 Unidad de paisaje de piedemonte.**

A ella pertenece la siguiente Unidad Geomorfológica:

##### **Vertientes y Escarpes del complejo Intrusivo-Extrusivo de Ocaña (Veó).**

Abarca las laderas, lomeríos y serranías que se presentan flanqueando la ciudad de Ocaña, incluyendo la vertiente evaluada del barrio San Fermín. Es de tipo denudacional.

Como geoforma específica, dentro de la Unidad Geomorfológica Veó, se identifica una ladera antropizada, aquí denominada de San Fermín (Lasf), según la

Figura **30**. Esta ladera urbana presenta cuatro terraceos para construcciones habitacionales de baja densidad, desde la parte media hasta la baja de toda la vertiente, cuyas aguas drenan hacia la microcuenca hidrográfica del río Tejo.

#### **4.4.2 Análisis Morfométrico y Ambiente Morfogenético Local.**

Para el presente trabajo se efectuaron seis perfiles o cortes morfométricos sobre la ladera antropizada, mediante levantamientos topográficos a detalle y dibujados a escala 1:750, como se ejemplifica en las Figuras 23, 24 y 25. A partir de éstos la geoforma Lasf se caracteriza además por ser corta, con longitudes inclinadas de 48 m (perfil 1), 52 m (perfil 2), 55 m (perfil 3), 30 m (perfil 4), 31 m (perfil 5) y 25 m (perfil 6), en general convexa en estado natural y recta por la acción humana, con pendientes promedio de 30° (o del 58%).

El ambiente morfogenético dominante es denudacional, en donde los procesos degradacionales (meteorización/remoción en masa/erosión) son más notorios que los agradacionales (sedimentación).

**Figura 30.** Vista de la ladera antropizada de San Fermín (Lasf), en donde se alcanzan elevaciones entre 1224 y 1270 msnm. Se ubican los perfiles levantados (entre ellos el 1, 2 y 3 del sector más crítico).



Fuente: Autor

La Figura 31, Figura 32 y Figura 33 se muestran aspectos de los taludes más críticos del barrio San Fermín, que en seguida se describen desde el punto de vista morfodinámico.

#### 4.4.3 Procesos morfodinámicos degradacionales.

Solamente hay tres clases de procesos morfodinámicos puntualmente, incluyendo la meteorización (ya descrita en la sección local), de erosión hídrica y de remoción en masa. Ellos tres actúan en forma simultánea, algunos precediendo a otros, pero sobre todo combinadamente, produciendo la degradación o denudación de las laderas antropizadas de San Fermín, en las tipologías que se describen con detalle enseguida.

**Figura 31.** Sector izquierdo del talud crítico (corresponde al perfil 1)



Fuente: Autor.

**Figura 32.** Sector central del talud crítico (corresponde al perfil 2)



Fuente: Autor.

**Figura 33.** Sector derecho del talud crítico (corresponde al perfil 3)



Fuente: Autor

#### 4.4.3.1 Remociones en masa.

Se evidencian deslizamientos traslacionales (Figura 34), laminares y en cuña, con desprendimientos locales de bloques de rocas ígneas (Figura 35), lo anterior se ha presentado particularmente en la sección central (perfil 2). En la sección izquierda (perfil 1), de acuerdo a lo visto en campo y a las relaciones entre algunas dimensiones del movimiento, se puede inferir que el movimiento han sido de tipo rotacional (inducido por el contacto entre el suelo residual suelto y el suelo medio duro y por la presencia de una zona de debilidad correspondiente a una estructura heredada y que corresponde a discontinuidades de la roca madre con buzamiento hacia el talud). En la Figura 36 se detalla este deslizamiento. Se puede apreciar que la relación  $D_r/L_r$  es de 0.18, se encuentra en el rango entre 0.15 y 0.33, lo cual permite clasificarlo como un deslizamiento rotacional [14], aunque en el terreno se aprecia que la falla ha sido por deslizamiento traslacional.

**Figura 34.** Deslizamiento típico en la zona estudiada (movimiento de cuña completa).



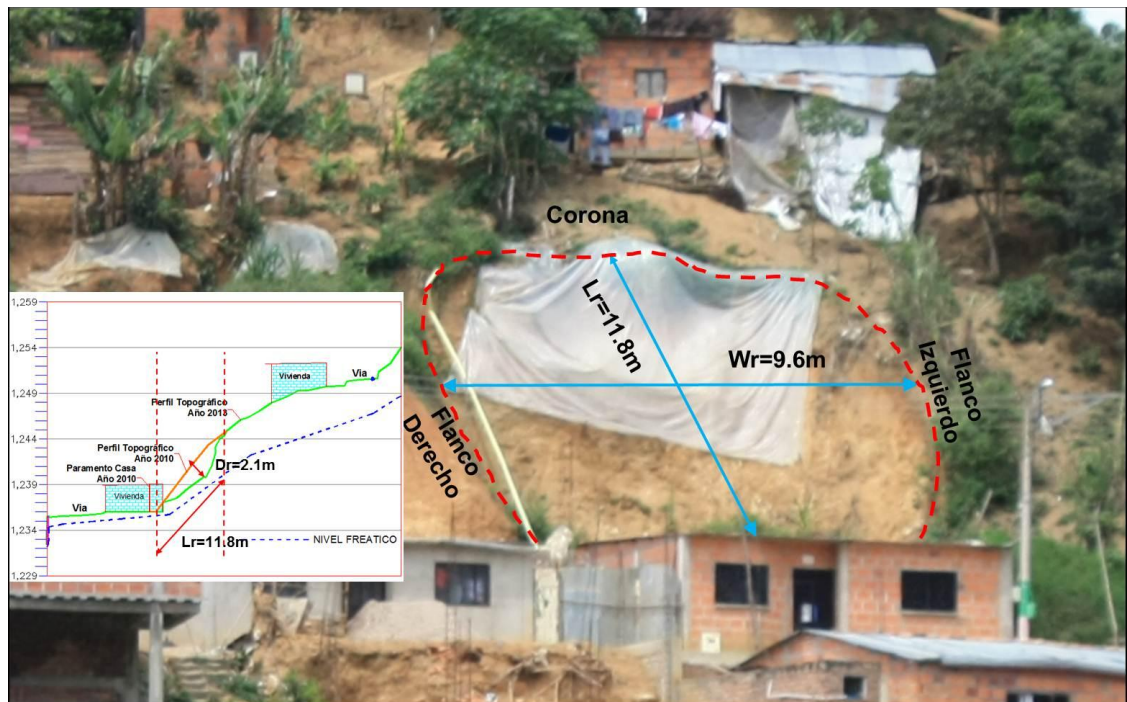
Fuente: Autor.

**Figura 35.** Deslizamiento típico en la zona estudiada, con desprendimientos locales de bloques.



Fuente: Autor.

**Figura 36.** Características deslizamiento en perfil 1 (zona izquierda-sector crítico)



Fuente: Autor

#### 4.4.3.2 Erosión hídrica.

Estos procesos son de amplia extensión e importante incidencia, representados por erosión hídrica laminar (o difusa), así como erosión concentrada en surcos y cárcavas.

La erosión hídrica laminar, simbolizada como EHL, fue evidente en varios sectores del barrio San Fermín (Figura 37).

**Figura 37.** Erosión laminar (EHL) en sectores de la ladera sur de San Fermín.



Fuente: Autor.

La presencia de pastos rastreros y vegetación arbóreo-arbustiva actúa protegiendo los materiales de fundación de la acción pluvial, atenúan la erosión hídrica y disminuyen la susceptibilidad a la remoción en masa.

La erosión hídrica concentrada en cárcavas (EHCc) es muy localizada, solo identificada en un sector entre las secciones 1 y 2 (corona talud crítico), menos

frecuente que la subtipología en surcos (EHCs), en la Figura 38 se muestra un sector donde se han presentado deslizamientos y en el cual se concentra la acción de las aguas de escorrentía (zona tubería) de la parte superior de la zona de estudio, ello ha originado la formación de una cárcava que ha influido también en las condiciones de inestabilidad de este talud. En la Figura 39 se ve uno de los sectores con presencia de erosión en surcos.

**Figura 38.** Sector con erosión hídrica concentrada en cárcavas (EHCc).



Fuente: Autor.

#### **4.5 INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA.**

Para la investigación geotécnica se utilizaron los criterios adquiridos en el desarrollo de las diferentes asignaturas cursadas en la maestría, estos incluyeron: La realización de exploración del subsuelo mediante la ejecución de sondeos por rotación y sondeos por percusión, la realización de ensayos de campo, la toma de

datos estructurales, la toma de muestras alteradas e inalteradas y la realización de ensayos de laboratorio para la determinación de propiedades físicas y mecánicas de los geomateriales que componen el sector objeto de estudio.

**Figura 39.** Sector con erosión hídrica concentrada en surcos (EHCs).



Fuente: Autor

#### **4.5.1 Trabajos de campo.**

Para el desarrollo de trabajos de campo se realizó en primer lugar la recolección de información preliminar a través de planos del PBOT<sup>5</sup> de Ocaña, informes técnicos realizados con anterioridad de la zona de estudio y trabajos de grado dirigidos por el autor en la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Posteriormente se realizaron un importante número de visitas de reconocimiento al

---

<sup>5</sup> PBOT= Plan Básico de Ordenamiento Territorial.

sector de estudio, con lo que se determinaron las características topográficas, la presencia de niveles freáticos, la formación geológica, perfil de meteorización, tipo de vegetación existente, grietas de tracción, posibles mecanismos de falla, etc. Finalmente se realizó la investigación del subsuelo mediante exploración, toma de muestras y ensayos de campo y laboratorio.

#### **4.5.1.1 Sondeos geotécnicos.**

Mediante la realización de sondeos se pudo determinar la profundidad de niveles freáticos, identificar las formaciones más resistentes que pueden limitar la extensión de la zona de falla [16], se pudo identificar el perfil de meteorización hasta la máxima profundidad explorada de 11.65 m y se obtuvieron muestras alteradas e inalteradas para los ensayos de laboratorio.

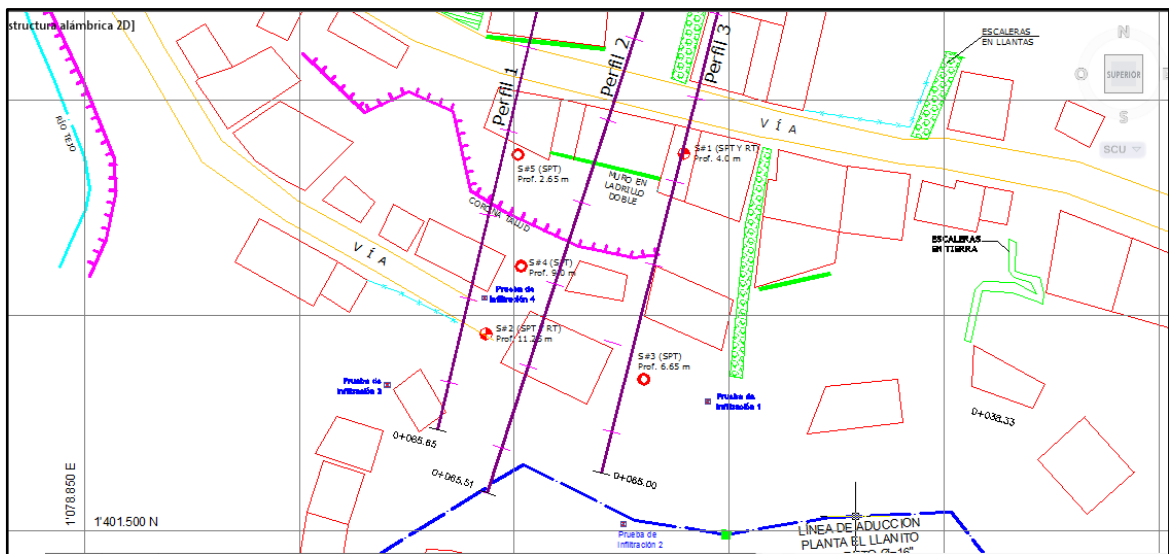
Se realizaron un total de 5 sondeos (se sondearon 34 ML a profundidades variables entre 2.65 m y 11.65 m), 2 sondeos continuos con uso de equipo de rotación y 3 sondeos continuos a percusión realizando ensayos de penetración estándar – SPT de acuerdo a la Norma ASTM D1586 e I.N.V. E-111-2007, utilizando equipo con motor, trípode, polea y lazo. En la Figura 40 se puede ver la localización de los sondeos y su profundidad.

Se utilizó equipo para sondeo por percusión – SPT de propiedad del autor y equipo para sondeo por rotación de la empresa I.D.T INGENIERIA DEL TERRENO S.A.S. Las especificaciones de los equipos se resumen a continuación:

- Peso del martillo: 140 libras
- Altura de caída: 76 centímetros
- Penetración: 3 intervalos de 15 centímetros cada uno (6")
- N de diseño: Sumatoria de los golpes de los últimos 30 centímetros (12")

- Diámetro exterior del tubo: 50.8 mm
- Diámetro interior del muestreador en la punta: 34.93 mm
- Longitud del tubo: 75 centímetros
- Sistema de hincado: Malacate y polea
- Motor del equipo de rotación: Hacker 20 HP con transmisión sencilla.
- Tubería para perforación NQ y revestimiento NW.
- Motor del equipo de percusión. Dek 6 HP.

**Figura 40. Localización sondeos.**



Fuente: Autor.

- **Sondeo No. 1 (prof. 4 m)**

Este sondeo se realizó en la parte baja del sector de estudio (pata talud perfil 3), se utilizó equipo por percusión (SPT) entre 0.0 m y 2 m y rotación entre 2 m y 4 m. En la Figura 41 y Figura 42 se aprecia la realización del sondeo y algunas muestras obtenidas. Ver Anexo C para mayor detalle de este sondeo.

En este sondeo se encontraron materiales arcillo arenosos de color rojizo entre 0.0 m y 1.0 m de prof., areno limo-arcillosos de color pardo-amarillento con presencia de minerales visibles de colores oscuros (oxidados) y blanco entre 2.0 m y 4.0 m. Se tiene presencia de nivel freático a 0.8 m de prof. Se aprecian discontinuidades con separaciones entre 8 y 12 cm, la cara de estas presenta color oxidado.

**Figura 41.** Realización Sondeo No.1

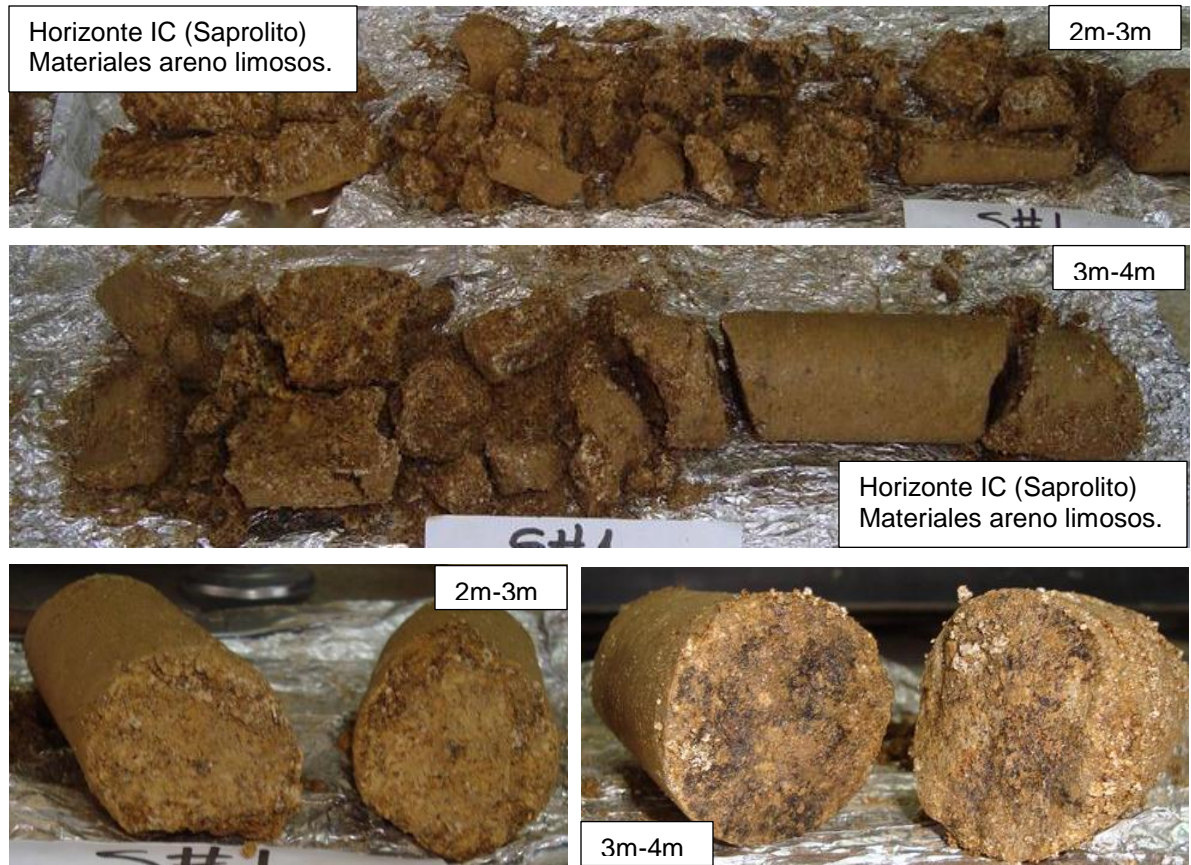


Fuente: Autor.

**Figura 42.** Muestras obtenidas en el Sondeo No.1.



Continuación Figura 42.



Fuente: Autor.

- **Sondeo No. 2 (prof. 11.65 m)**

Este sondeo se realizó en la parte alta del sector de estudio (entre perfil 1 y 2), se utilizó equipo por percusión (SPT) entre 0 m y 3 m y rotación entre 3 m y 11.65 m. En la Figura 43 y Figura 44 se aprecia la realización del sondeo y algunas muestras obtenidas. Ver Anexo C para mayor detalle de este sondeo. Se encontraron materiales arcillo arenosos de color rojizo entre 0 y 1m, limos arenosos pardo-amarillentos entre 1 y 2m (visibles minerales de color blanco), arenas arcillosas de color pardo-amarillento (visibles minerales de color blanco). Entre 3 y 5 m se tienen materiales arcillo arenosos de color pardo-amarillento con presencia de discontinuidades cada 4 a 6 cm, se encuentran fragmentos con

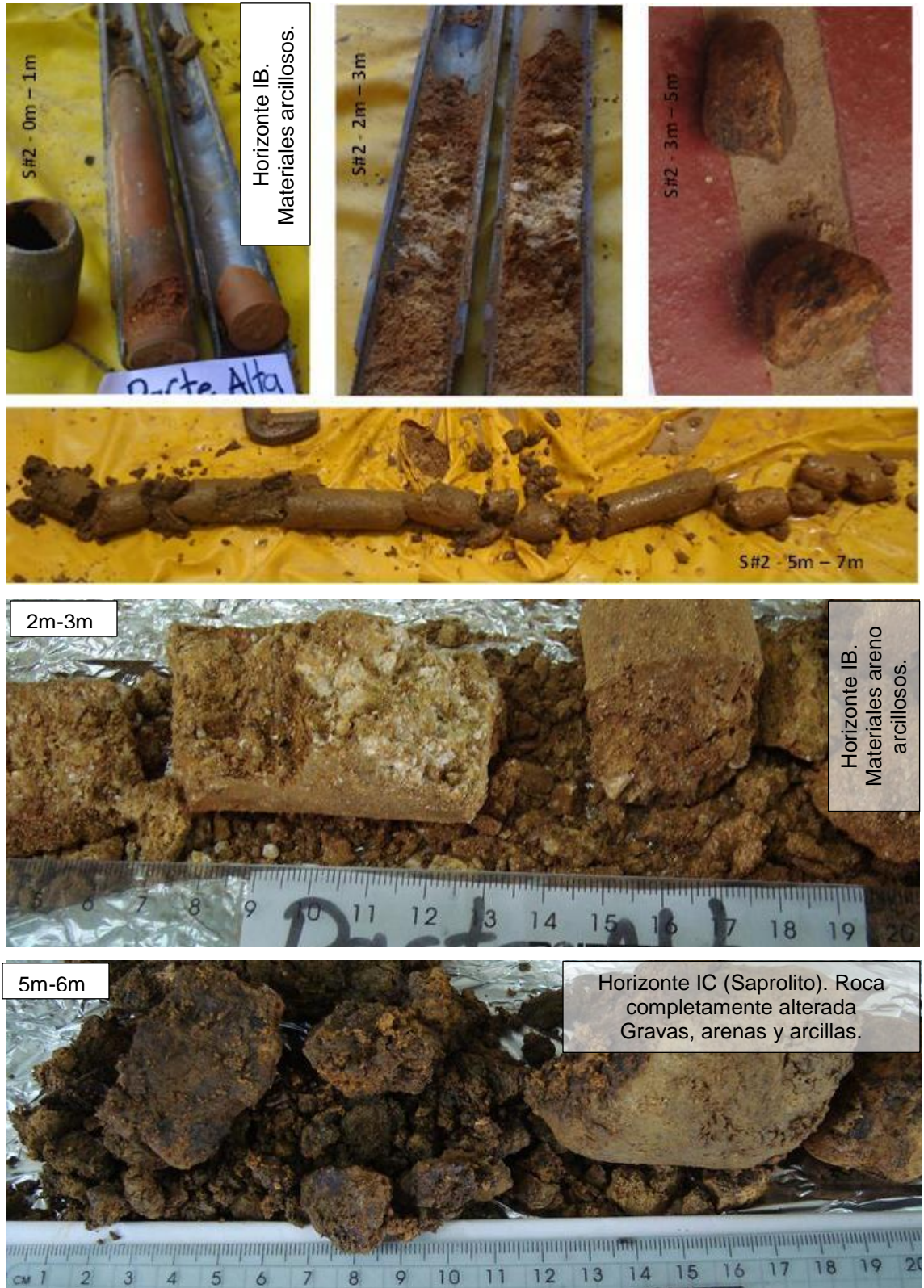
meteorización esferoidal y superficie de color oscuro (oxidado). Entre 5 y 11.65 m se encuentra roca altamente fracturada con discontinuidades entre 6 y 12 cm, los fragmentos se encuentran en una matriz areno arcillosa (visibles minerales de color blanco y de color oscuro (oxidado)). Se tiene nivel freático a 3.8 m de prof.

**Figura 43.** Realización sondeo No.2.

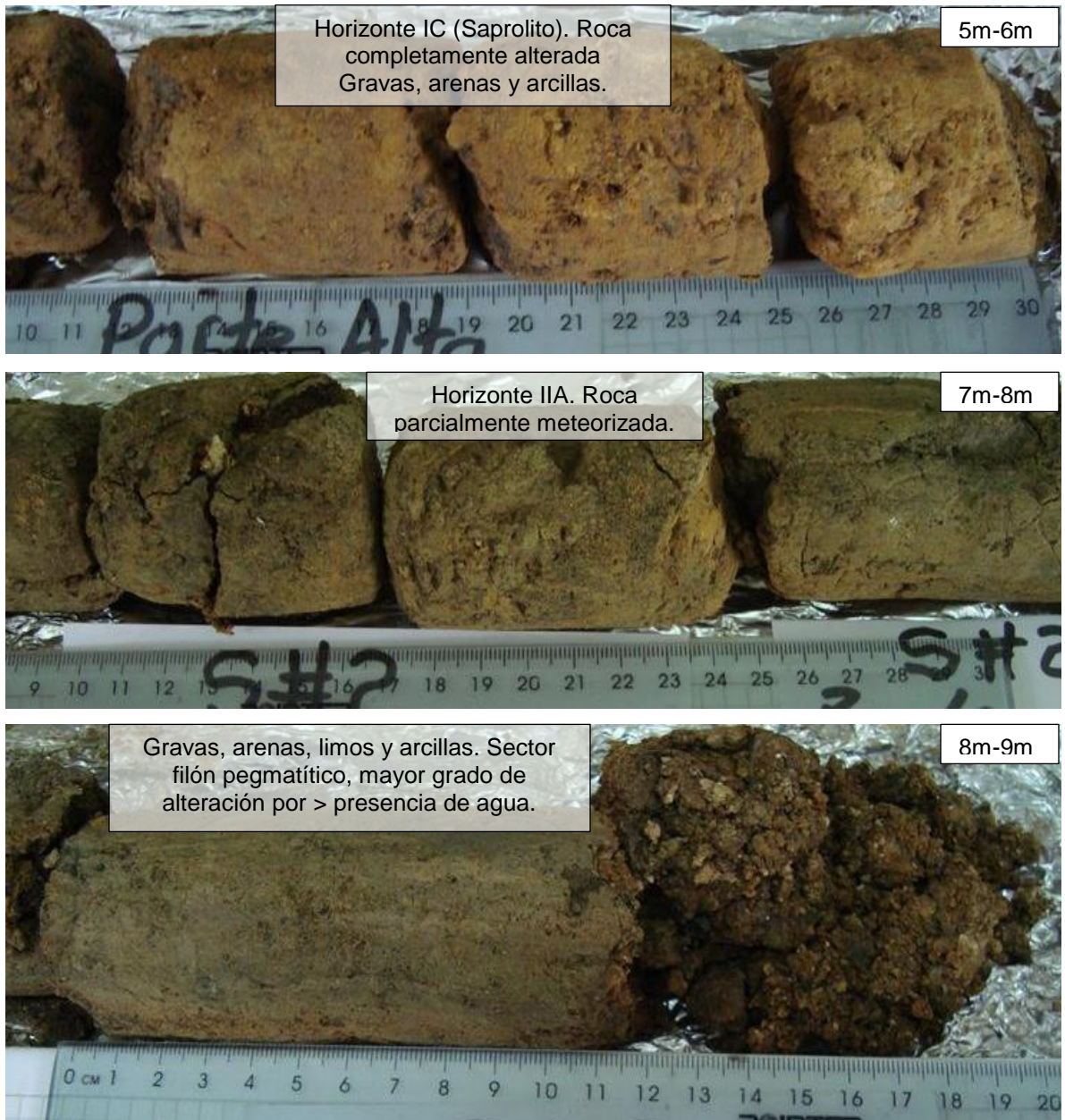


Fuente: Autor.

Figura 44. Algunas muestras obtenidas en el Sondeo No.2.



Continuación Figura 44.



Fuente: Autor.

- **Sondeo No. 3 (prof. 6.65 m)**

Este sondeo se realizó en la parte alta del sector de estudio (perfil 3), se realizó con equipo por percusión (SPT). En la Figura 45y Figura 46 se aprecia la

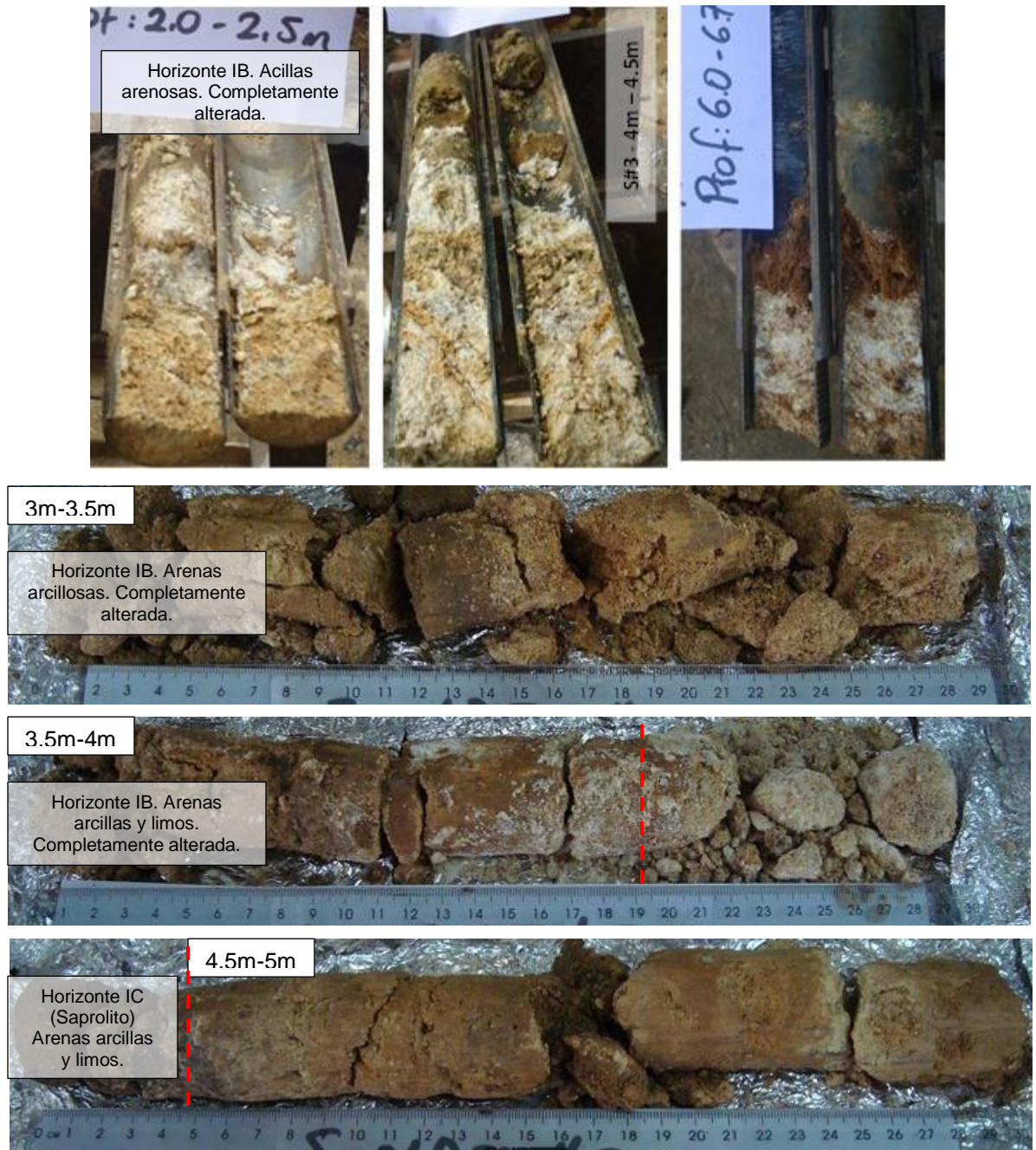
realización del sondeo y algunas muestras obtenidas. En este sondeo se encontraron entre 0 y 1 m arcillas arenosas de color pardo-amarillento (visibles minerales de color blanco), entre 1 y 3.5 m se presentan materiales arenos arcillosos de color pardo-amarillento (visibles minerales de color oxidado y de color blanco), entre 2.5 m y 3.0 m se encontró un material conformado por fragmentos de roca (arenas y gravas) perteneciente a un dique de material cuarzoso que se distribuye en el perfil explorado cada 1 a 3 m. De 3.5 hasta 6.5 m se encuentran materiales arcillo arenosos de color pardo-amarillento, con presencia intercalada del dique de material cuarzoso. Hay presencia de agua entre 3.0 y 4.0 m.

**Figura 45.** Realización sondeo No. 3.

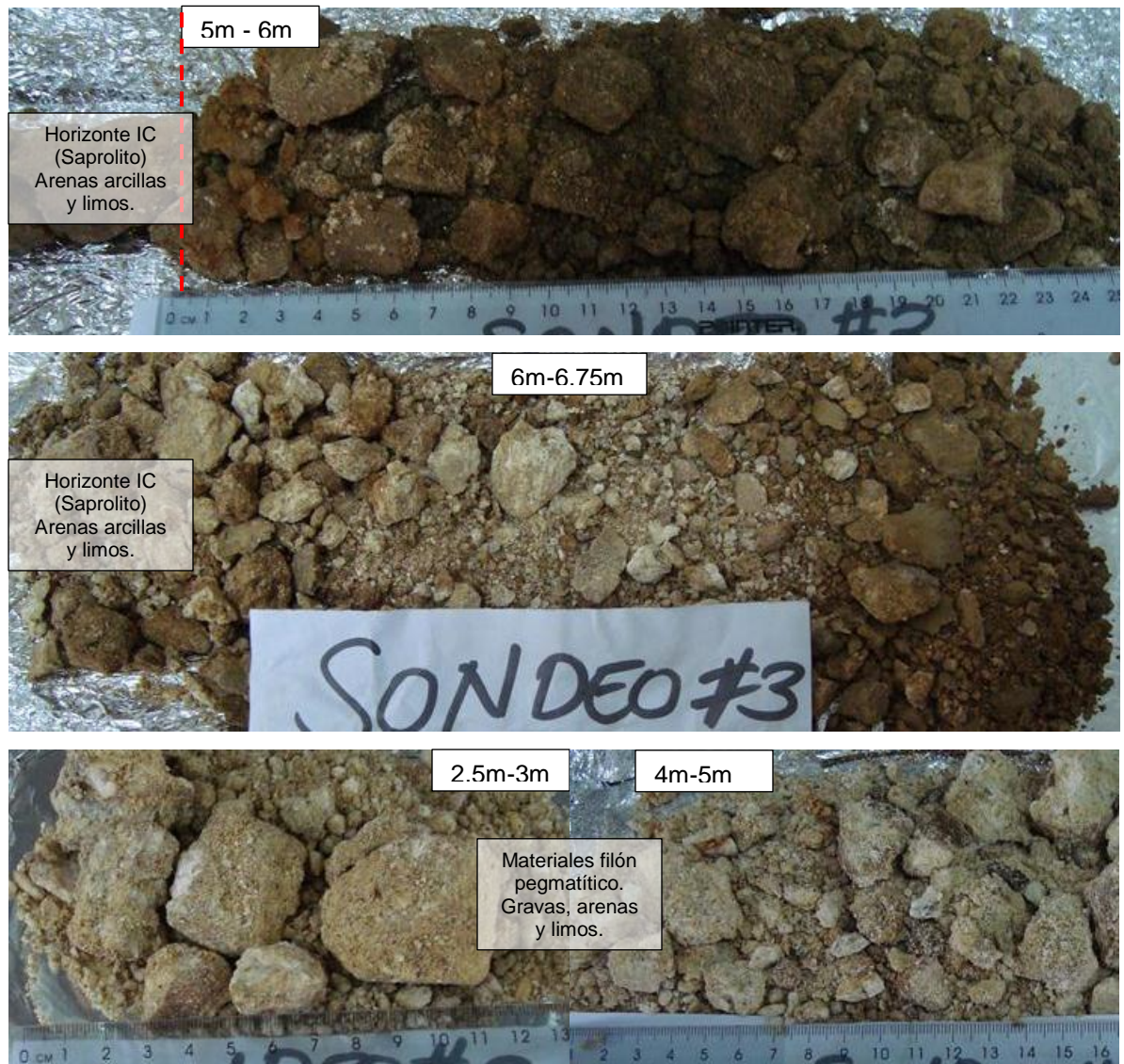


Fuente: Autor.

Figura 46. Muestras obtenidas sondeo No.3.



Continuación Figura 46.



Fuente: Autor.

- **Sondeo No. 4 (prof. 9.0 m)**

Este sondeo se realizó en la parte alta del sector de estudio (corona talud perfil 1 y 2), se realizó con equipo por percusión (SPT). En la Figura 47 y Figura 48 se aprecia la realización del sondeo y algunas muestras obtenidas.

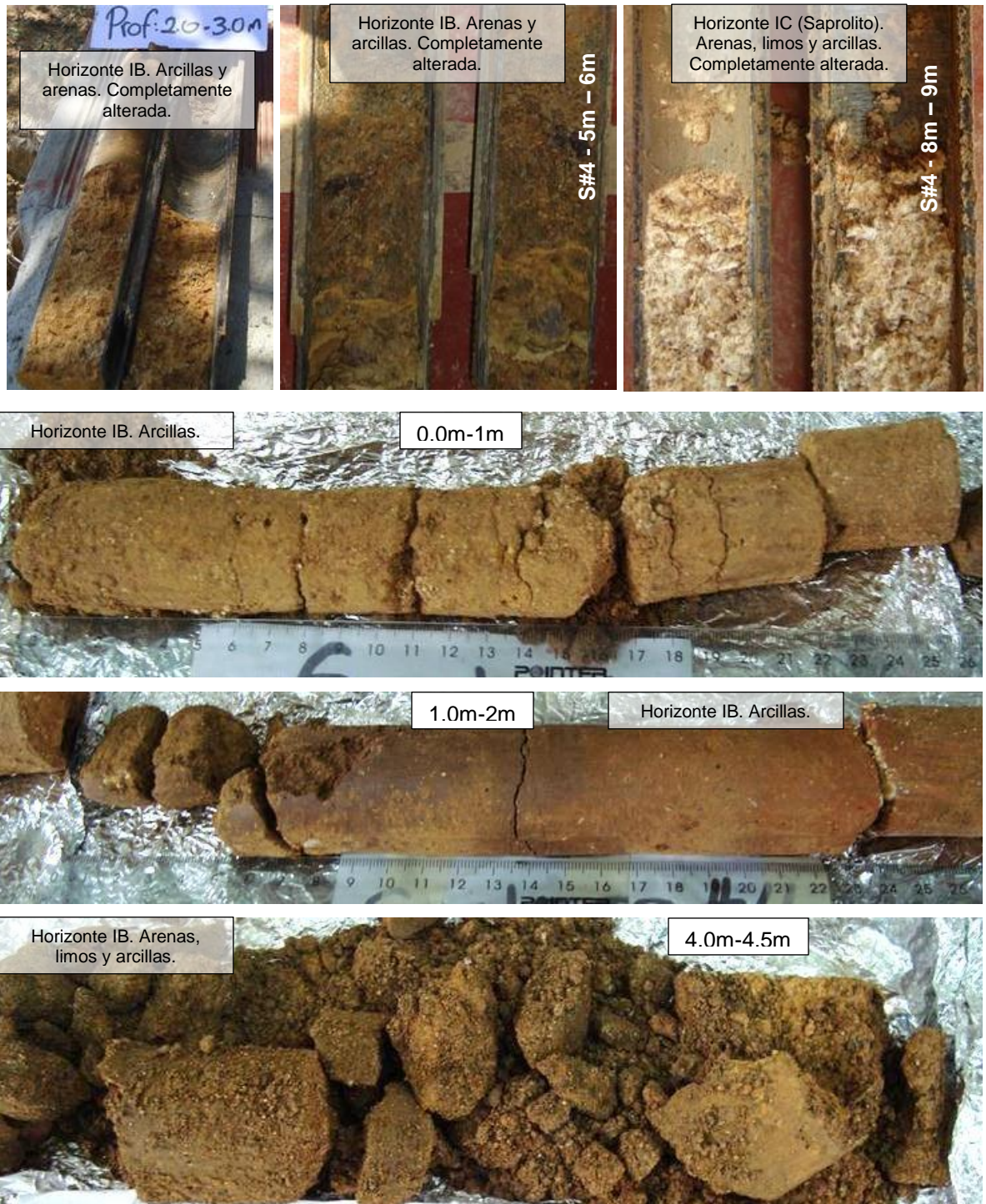
Se presentan materiales arcillo arenosos de color pardo-amarillento con algunos tonos rojizos entre 0 y 2.5 m, materiales areno arcillosos de color pardo-amarillento entre 2.5 m y 6 m (visibles minerales de color blanco y de color oxidado). Entre 6 y 7 m se encuentran materiales arcillo arenosos de color pardo-amarillento en condición saturada, se aprecian materiales de color oxidado, gris verdoso y amarillo claro. Entre 7 y 8.0 m se presentan materiales arcillo arenosos de color pardo-amarillento, se aprecia la presencia de materiales del dique cuarzoso altamente meteorizados con color amarillo claro. Entre 8 y 9 m se encuentran materiales arcillo arenosos de color pardo-amarillento con presencia de materiales del dique de cuarzo. Se tiene presencia de agua entre 4 m y 5 m.

**Figura 47.** Realización sondeo No.4.



Fuente: Autor.

Figura 48. Muestras obtenidas sondeo No.4.



Continuación Figura 48.



Fuente: Autor.

- **Sondeo No. 5 (prof. 2.65 m)**

Este sondeo se realizó en la parte baja del sector de estudio (pata talud perfil 1), se realizó con equipo por percusión (SPT). En la Figura 49 y

**Figura 50** se aprecia la realización del sondeo y algunas muestras obtenidas. Entre 0.0 m y 1.5 m se tienen materiales arcillo arenosos de anteriores deslizamientos y presencia de escombros de las edificaciones colapsadas por estos deslizamientos. Entre 1.5 m y 2.2 se tienen arenas arcillosas de color pardo-amarillento con minerales visibles de colores oscuro (oxidado) y blanco. Entre 2.2 y 2.5 m se encuentran materiales muy alterados arcillo arenosos en condición saturada. Entre 2.5 y 2.65 m se tienen materiales arena limosos de color pardo-amarillo y minerales visibles (color oxidado y blanco). Se tiene presencia de nivel freático a 1.5 m de profundidad.

**Figura 49.** Realización sondeo No.5 y condiciones macizo rocoso.

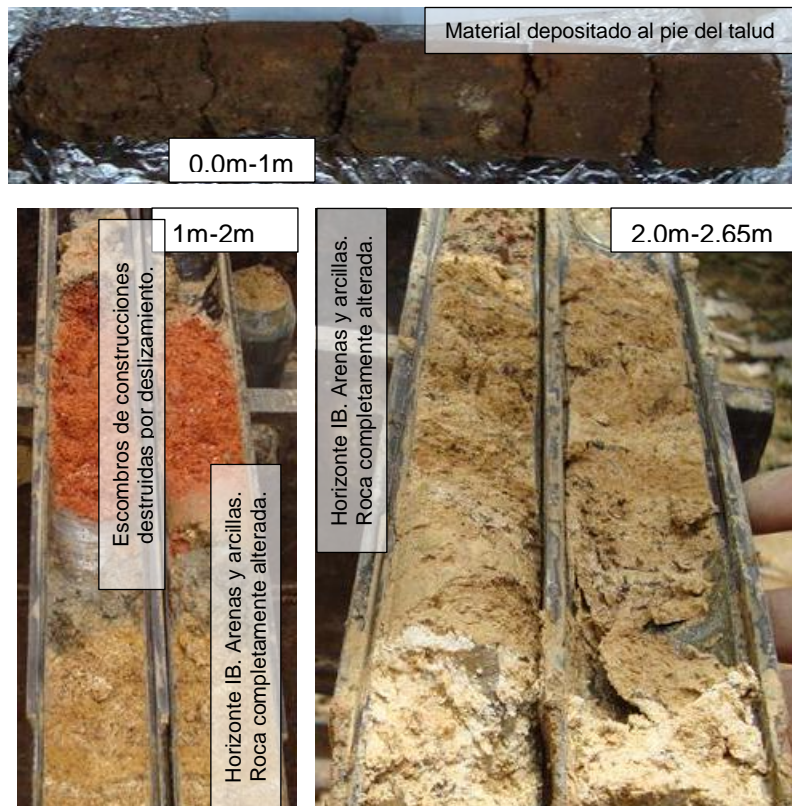


Continuación Figura 49.



Fuente: Autor.

**Figura 50.** Muestras obtenidas sondeo No.5

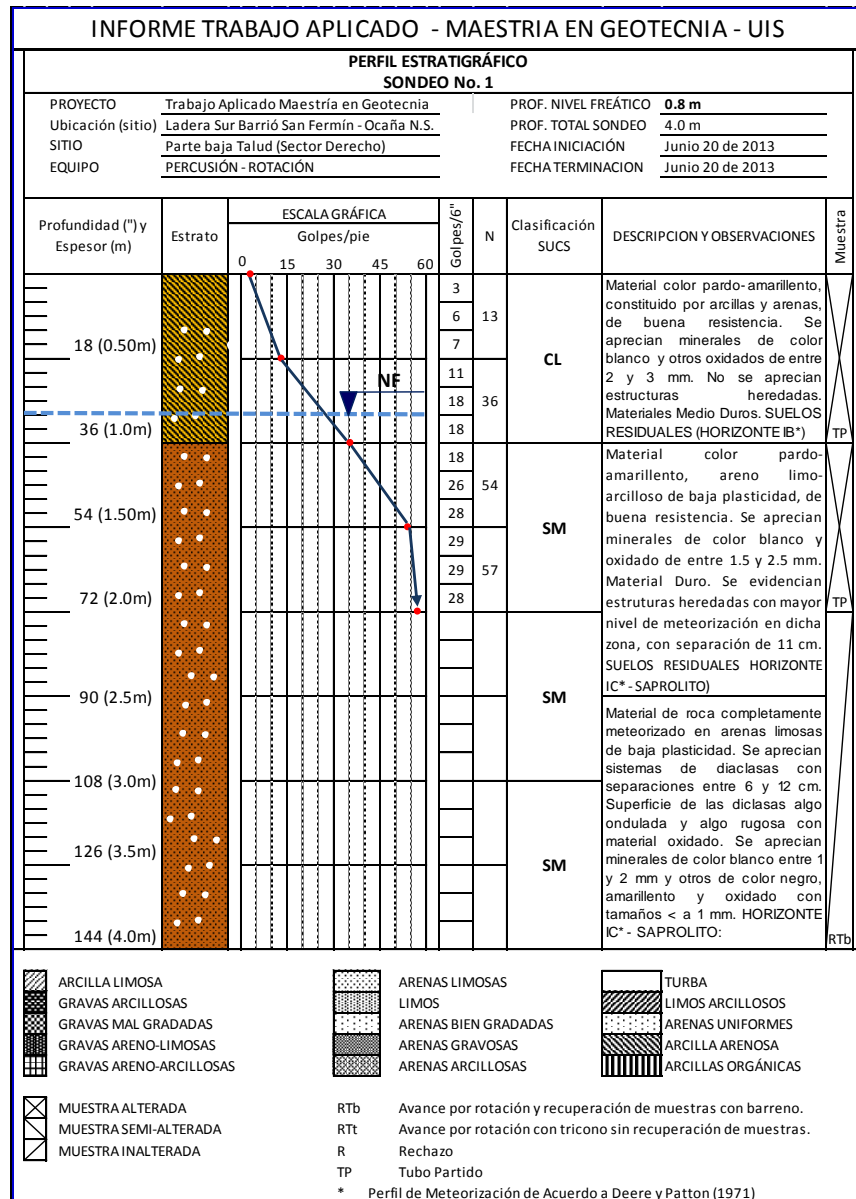


Fuente: Autor.

### 4.5.1.2 Perfiles estratigráficos.

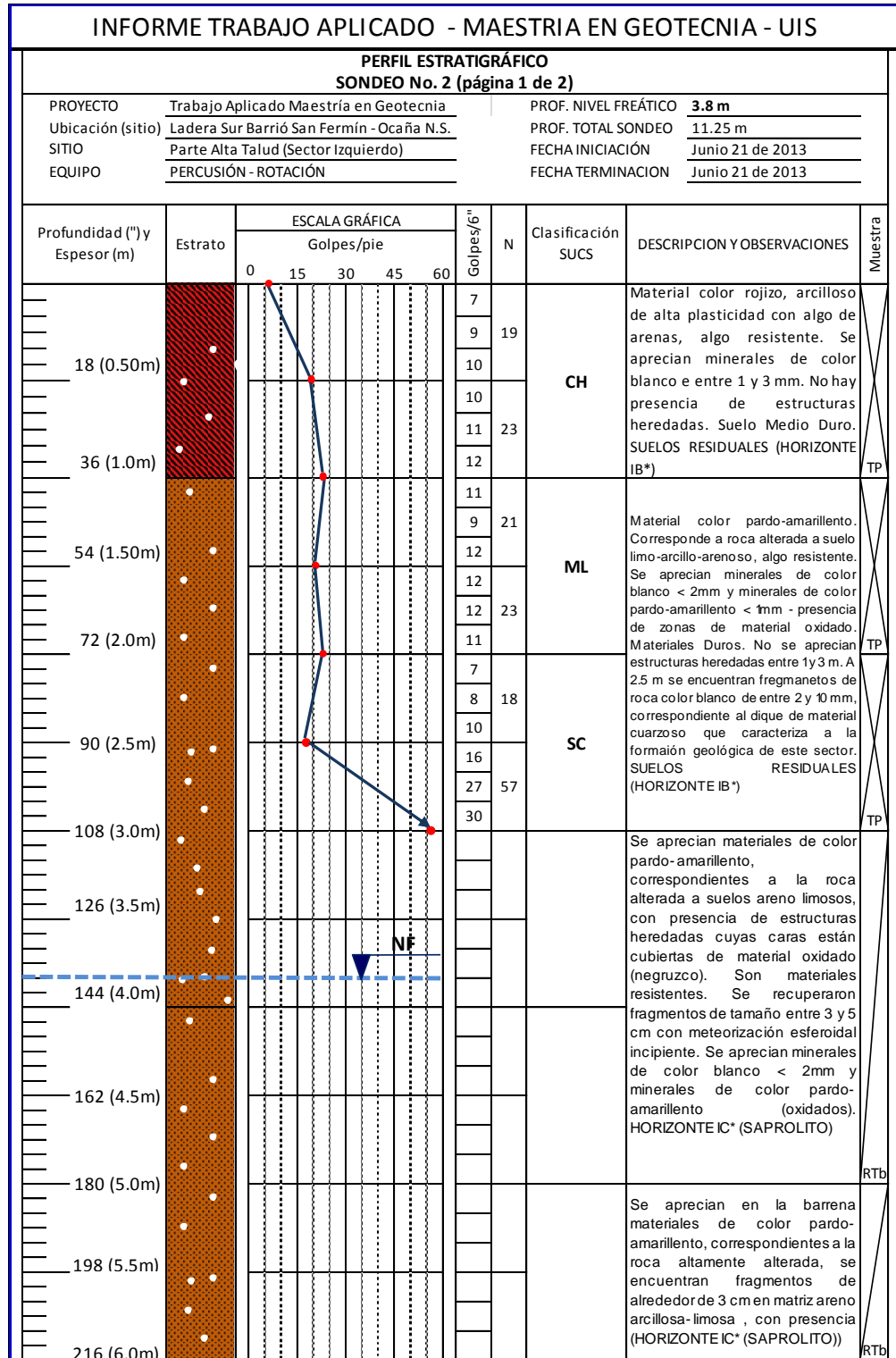
Con la información de los sondeos establecieron los perfiles estratigráficos para cada uno de los sondeos. Ver Figuras 51 a 55.

Figura 51. Perfil estratigráfico Sondeo No.1

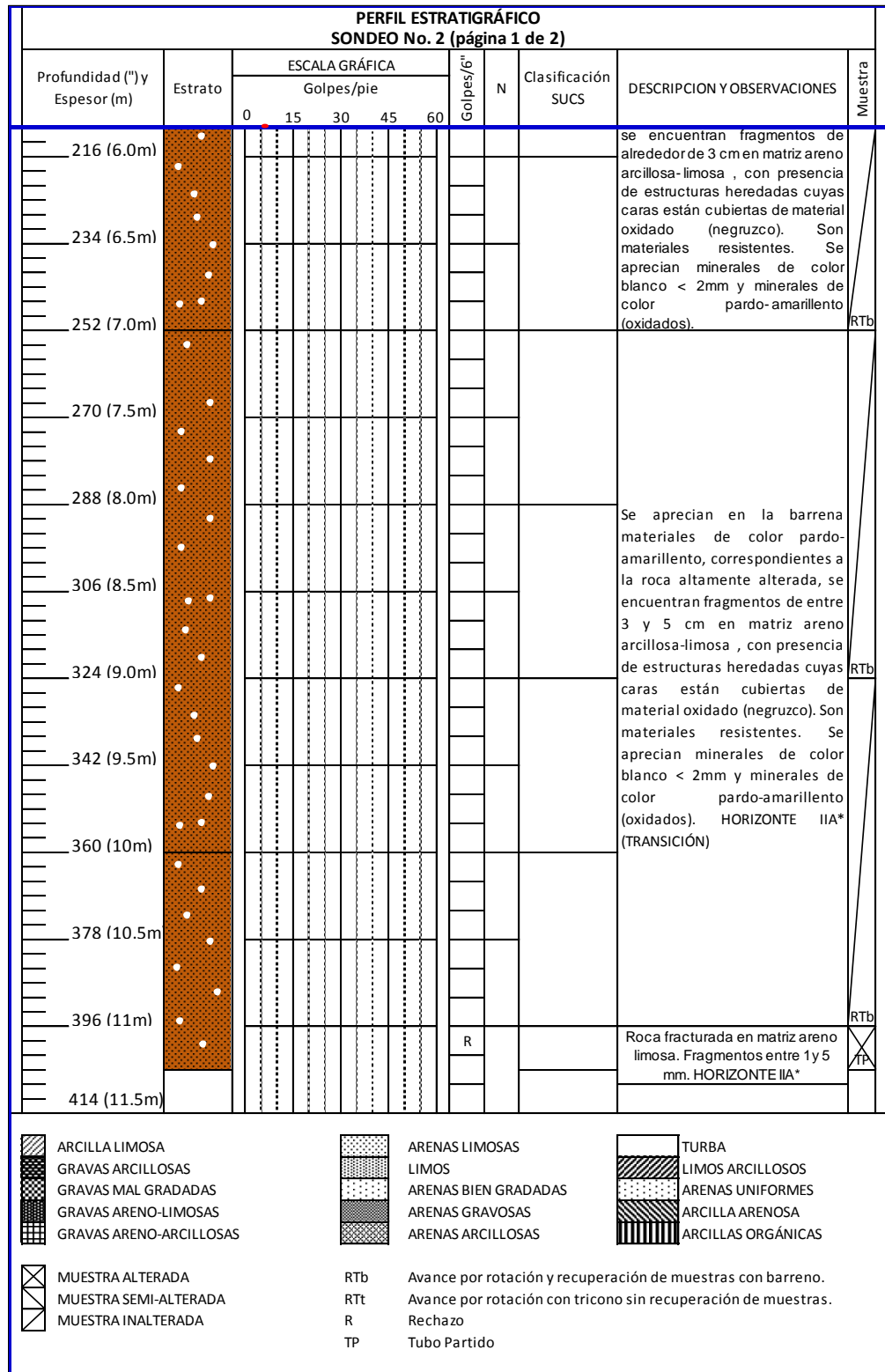


Fuente: Autor.

Figura 52. Perfil estratigráfico Sondeo No.2

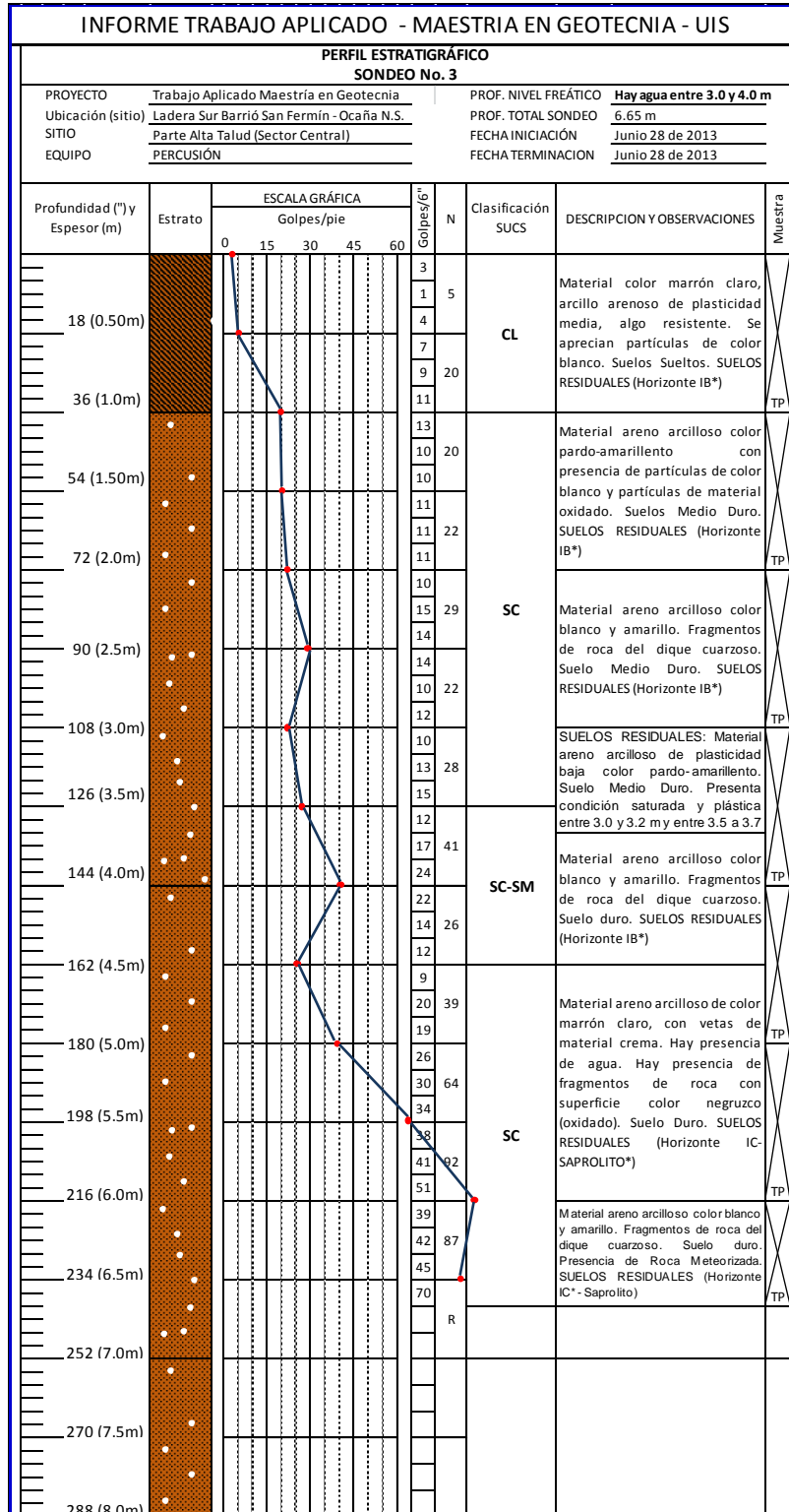


Fuente: Autor.



Fuente: Autor.

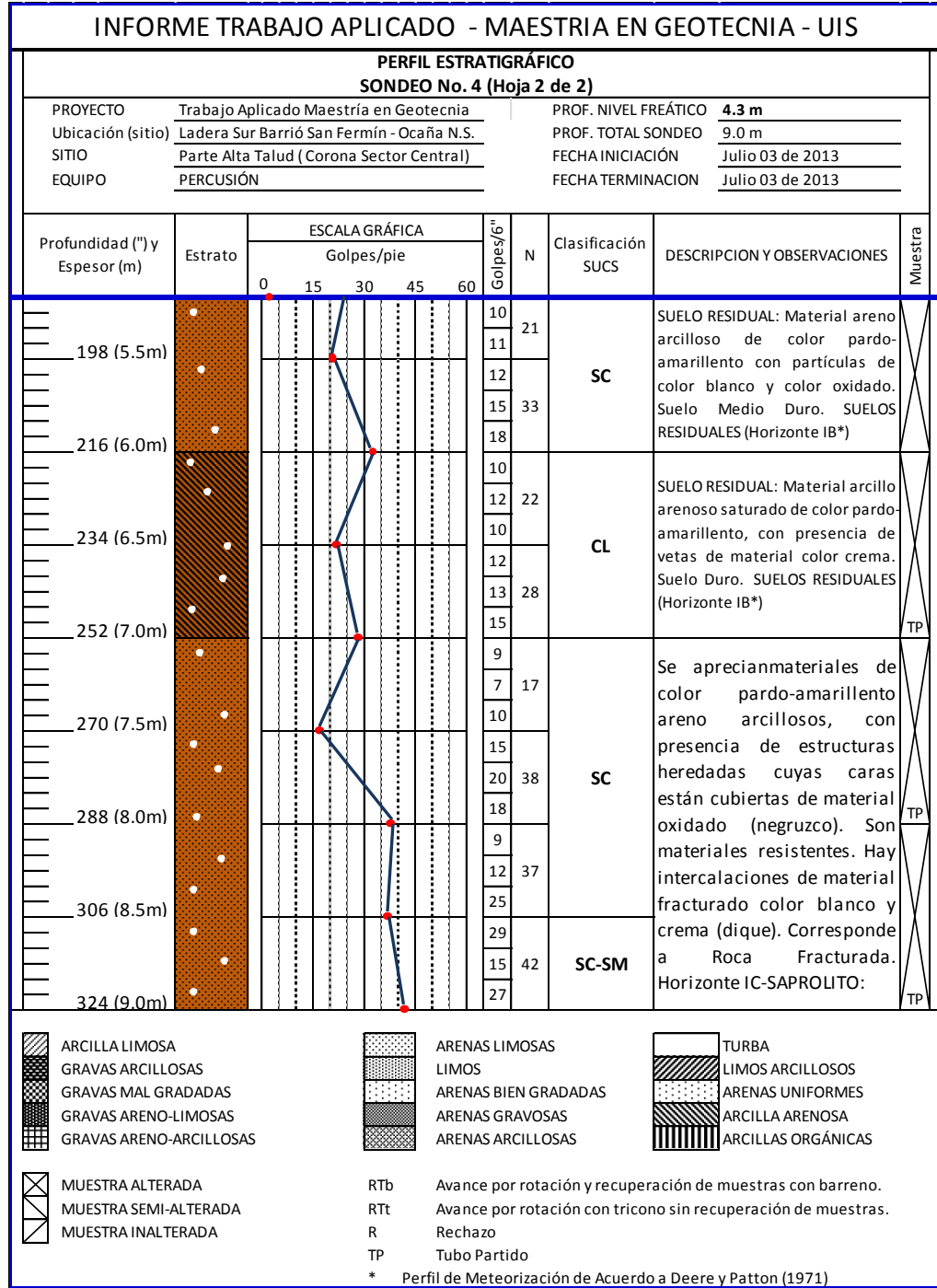
Figura 53. Perfil estratigráfico sondeo No.3



Fuente: Autor.

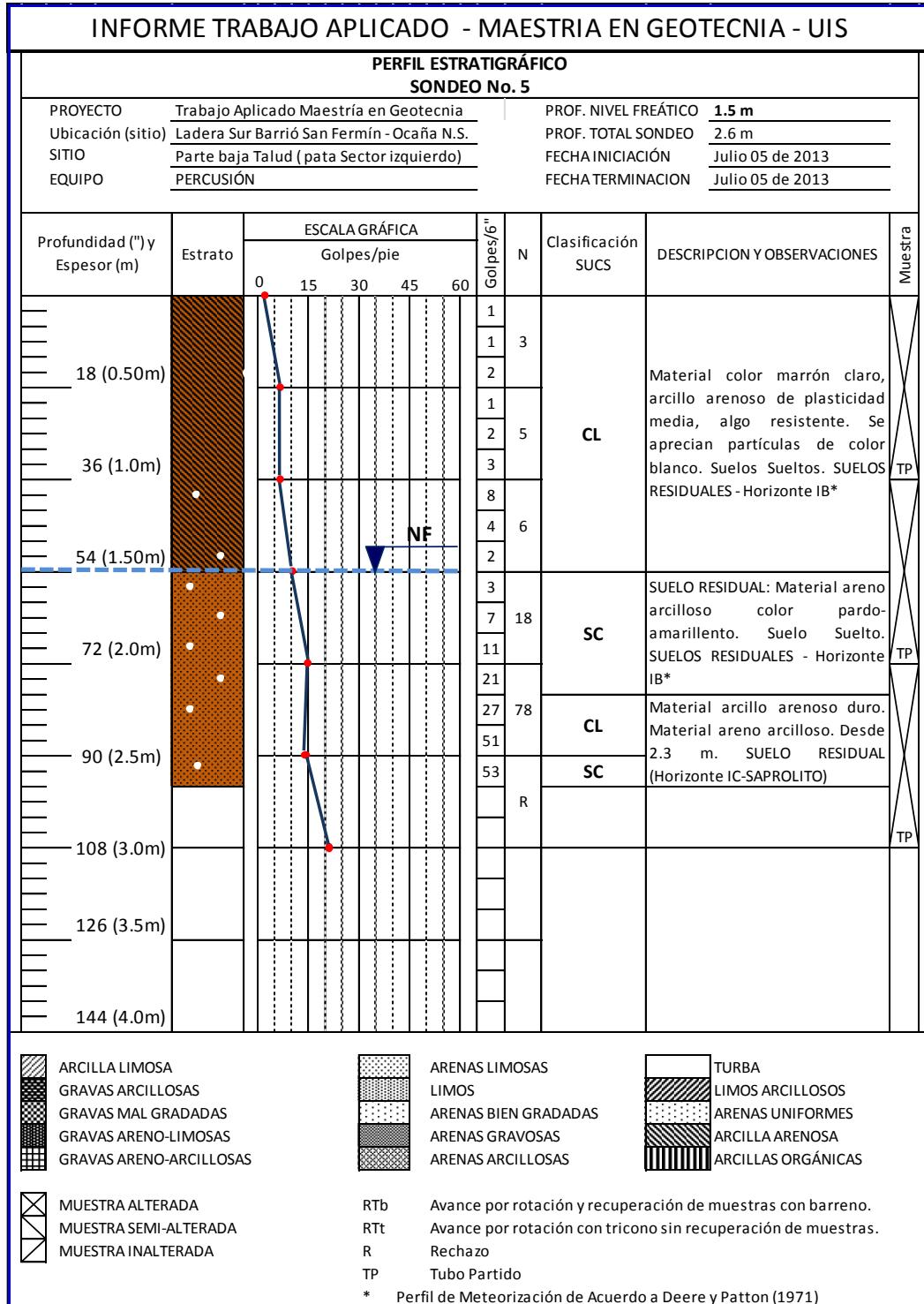


Continuación Figura 54.



Fuente: Autor

Figura 55. Perfil estratigráfico sondeo No.5.



Fuente: Autor.

Para la interpretación de los datos de ensayos SPT se utilizaron como referencia las correlaciones de las Tablas 3 y 4.

**Tabla 3.** Para suelos granulares.

<b>Relative Density</b>	<b>SPT <math>N_{meas}</math> (blows/300 mm or blows/ft)</b>
Very loose	0 – 4
Loose	5 - 10
Medium Dense	11 – 30
Dense	31 – 50
Very Dense	>51

Fuente: [17]

**Tabla 4.** Para suelos cohesivos.

<b>Consistency</b>	<b>SPT <math>N_{meas}</math> (blows/300 mm or blows/ft)</b>
Very soft	0-1
Soft	2-4
Medium Stiff	5-8
Stiff	9-15
Very Stiff	16-30
Hard	31-60
Very Hard	>61

Fuente: [17]

#### 4.5.1.3 Monitoreo de niveles freáticos.

Una vez realizados los diferentes sondeos en la parte baja y alta de la zona de estudio y teniendo en cuenta que el nivel freático se encontró relativamente a poca profundidad, se dispuso realizar manualmente un seguimiento a su profundidad. Lo anterior particularmente con el objetivo de poder relacionar la filtración de aguas de la tubería de aducción en concreto de 16" de la planta El Llanito, con el afloramiento de caudales considerables de agua en la parte alta y baja de la zona de estudio; ay que no se consideró atribuible exclusivamente a la presencia de un nivel freático estable en la ladera sino más bien a un nivel freático inducido por las filtraciones de la tubería de aducción. En la Figura 56, Figura 57 y Figura 58 se aprecia lo descrito anteriormente.

**Figura 56.** Afloramiento de agua atribuido a filtraciones de la tubería de aducción.



Fuente: Autor.

En la Tabla 5 se muestra el seguimiento a los niveles freáticos realizado entre junio y noviembre de 2013. Este monitoreo se realizó como se aprecia en la Figura 56 con el uso de Flexómetro y cinta métrica.

**Tabla 5.** Seguimiento a profundidad niveles freáticos.

Sondeo		1	2	3	4	5
Fecha / Prof. (m)		4.00	11.25	6.75	9.00	2.65
Junio 24/13 (lunes)	Profundidad Nivel Freático (m)	0.8	3.8	5.5	4.3	1.5
Julio 10/13 (miércoles)		1.0	4.1	5.5	4.0	1.7
Julio 20/13 (sábado)		1.0	4.0	5.8	3.8	1.6
<b>Agosto 08/13 (jueves)*</b>		Tapado x dueño predio	<b>6.6</b>	<b>No se encontró</b>	<b>No se encontró</b>	<b>No se encontró</b>
Septiembre 18/13 (miércoles)		Tapado x dueño predio	3.3	6.5	4.4	1.5
Octubre 01/13 (martes)		Tapado x dueño predio	3.5	5.5	4.3	1.7
Noviembre 09/13 (sábado)		Tapado x dueño predio	3.6	Tapado x dueño predio	4.2	1.6
* Mantenimiento Línea de Aducción.						

Fuente: Autor.

Se aprecia que en el día 08 de agosto, cuando se estaba realizando mantenimiento a la bocatoma de la planta El Llanito, las profundidades del nivel freático sufrieron una variación significativa. Esta información fue transmitida al coordinador del consejo municipal de gestión del riesgo de la alcaldía de Ocaña.

#### 4.5.1.4 Realización de pruebas de infiltración.

Se realizaron cuatro (4) pruebas de infiltración por el método de Porchet del pozo barrenado invertido [18] (ver localización en Figura 40). Los resultados de estas pruebas son requeridos para evaluar el factor por Erosión y socavación del método de los factores de valuación que se presenta en el capítulo 5. En la Figura 55 se muestran algunas imágenes de la realización del trabajo de campo. Los resultados de estas pruebas determinaron que para la capa superficial del perfil de meteorización del sector de estudio se presentan valores de infiltración entre 0.0001461 cm/s y 0.0014 cm/s. Los cálculos detallados pueden apreciar en el Anexo D.

**Figura 57.** Prueba de infiltración, método de Porchet del pozo barrenado invertido.



Fuente: Autor.

#### 4.5.1.5 Pruebas de la dureza de rebote con el martillo Schmidt (Esclerómetro).

Con el objeto de tener la mayor cantidad de información redundante sobre la resistencia a la compresión confinada y de las condiciones de la roca presente en el macizo rocoso del sector de estudio se realizaron pruebas con el martillo Schmidt para la determinación de la dureza de rebote y su posterior correlación con la clasificación de la roca de acuerdo a su dureza y con la resistencia a la compresión uniaxial [19]. La información anterior se utilizará para evaluar el factor por geología (propiedades mecánicas) en el método de los factores de valuación que se desarrolla en el capítulo 5. En la Figura 58 se aprecia la ejecución de esta prueba y en la Tabla 6 están los resultados obtenidos.

**Figura 58.** Realización pruebas con el martillo Schmidt.



Fuente: Autor.

**Tabla 6. Datos Dureza de Rebote con el Martillo Schmidt.**

<b>DETERMINACION DE LA DUREZA DE REBOTE CON EL MARTILLO SCHMIDT</b>					
<b>NORMA ASTM D5873-05</b>					
Localización Muestreo: Talud vía de acceso a Barrio San Fermin Ocaña N.S.					
Descripción Roca: Afloramiento de roca de origen Igneo, correspondiente a granodioritas. Rocas plutónicas Faneríticas. Presenta un grado de meteorización alto en el sector de toma de datos.					
Coordenadas: 8°13'40.5" N / 73°21'31.73" W					
Orientaciones: Sector 1: N 80 W / 62 NE Sector 2: N 70 E / 30 NW					
Fecha: Noviembre 08 de 2013					
Tipo de Especimen: Especimen <i>In Situ</i> / Ensayo sobre Diaclasas.					
Orientación del Martillo					
Sector 1		Sector 2			
<b>Lecturas Rebote Martillo Schmidt</b>				<b>Factor de Corrección</b>	
Lectura No.	Sector 1	Lectura No.	Sector 2	Lectura No.	Valor Rebote sobre Yunque
1	19	1	24	1	74
2	19	2	24.5	2	78
3	19	3	24.5	3	77
4	19	4	24	4	78
5	18.5	5	24	5	79
6	18	6	24	6	79
7	18	7	23	7	78
8	17	8	23	8	79
<b>Prom.</b>	<b>18.4</b>	9	23	9	75
9	17	10	23	10	78
10	17	11	22.5	<b>Prom.</b>	<b>77.5</b>
11	17	12	22.5	<b>Valor estándar</b>	
12	17	13	22.5	80	
13	16.5	14	22.5	<b>F. de C. =</b>	<b>1.032</b>
14	16.5	<b>Prom.</b>	<b>23.4</b>		
15	16	15	22.5	<b>Dureza de Rebote Schmidt, R</b>	
16	16	16	22	<b>Sector 1</b>	<b>Sector 2</b>
		17	22	<b>19.0</b>	<b>24.1</b>
		18	22	<b>Rocas de Dureza Baja a Muy Baja (Correa, 2005)</b>	
		19	22	<b>Esfuerzo a la Compresión UNIAXIAL (MPa) (Correa, 2005)</b>	
		20	21	<b>Sector 1</b>	<b>Sector 2</b>
		21	21	<b>25.8</b>	<b>31.3</b>
		22	21	<b>Rocas de Resistencia Baja "E" según Deere y Miller, 1966</b>	
		23	20.5		
		24	20.5		
		25	20.5		
		26	20.5		
		27	19.5		
		28	18		
Ensayo y Realizó:					
ROMEL GALLARDO AMAYA					

Fuente: Autor.

#### 4.5.1.6 Toma de datos estructurales.

Con el objeto de obtener la información requerida para la elaboración del modelo geotécnico, se tomaron datos de geología estructural en el macizo rocoso con la brújula geológica Brunton International. Se seleccionaron superficies planares de discontinuidad bien representativas, de las familias de diaclasas dominantes y evidentes en las inspecciones de geología superficial, buscando facilitar la posición de lectura y en cuyas caras se limpiaron las costras de meteorización, para permitir apoyar adecuadamente el instrumento de medición, en los taludes en el sector de estudio. Los datos geoestructurales se notaron en rumbo (cuadrantes) y buzamiento (con el ángulo y sentido del buzamiento). Esto permitirá utilizar la información en el análisis cinemáticos de los taludes, particularmente para los taludes definidos con los perfiles 1 y 2. En la Tabla 7 se resumen los datos tomados en campo. En la Figura 59 y Figura 60 se aprecia la toma de datos en campo.

**Tabla 7.** Datos de dirección y buzamiento para sector crítico ladera en estudio.

No.	RUMBO	BUZAMIENTO	Sector
1	N 44° E	48° NW	Talud roca cercano
2	N 39° E	75 NW	
3	N 36° E	52 NW	
4	N 31° E	80 NW	
5	N 85° W	33 NE	
6	N 44° E	74 NW	
7	N 71° W	78 NE	
8	N 32° E	44 NW	
9	N 60° E	49 NW	
10	N 71° E	42 NW	
11	N 34° E	72° NW	
12	N 77 E	48 NW	Talud vecino
13	N 78 E	57 NW	
14	N 80 W	70 NE	
15	N 22 E	22 NW	

No.	RUMBO	BUZAMIENTO	Sector
16	N 74 E	69 NW	Talud estudio
17	N 74 E	64 NW	
18	N 82 E	46 NW	
19	N 71 W	44 NE	
20	N 74 E	51 NW	
21	N 60 W	68 NE	
22	S 72 E	78 NE	Talud en estudio
23	S 47 E	78 NE	
24	S 57 E	89 NE	
25	S 49 E	88 NE	
26	S 40 E	75 NE	
27	S 55 E	88 NE	
28	S 44 E	75 NE	
29	S 42 E	85 NE	
30	S 44 E	86 NE	
31	S 57 E	74 NE	

Fuente: Autor.

**Figura 59.** Toma de datos estructurales.



Fuente: Autor.

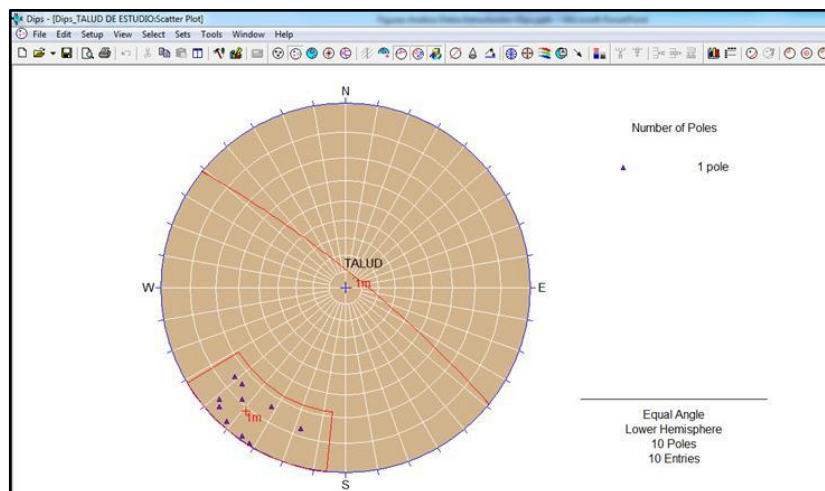
**Figura 60.** Toma de datos estructurales.



Fuente: Autor.

Utilizando el software Dips de Rocscience® se realizó el análisis estereográfico y cinemático para el talud del sector izquierdo de la zona de estudio (perfil 1). En la Figura 61 se analiza la información tomada para definir el rumbo y buzamiento del talud del perfil 1.

**Figura 61.** Análisis talud sector izquierdo (Perfil 1) para definir Rumbo y Buzamiento medio, diagrama de polos.

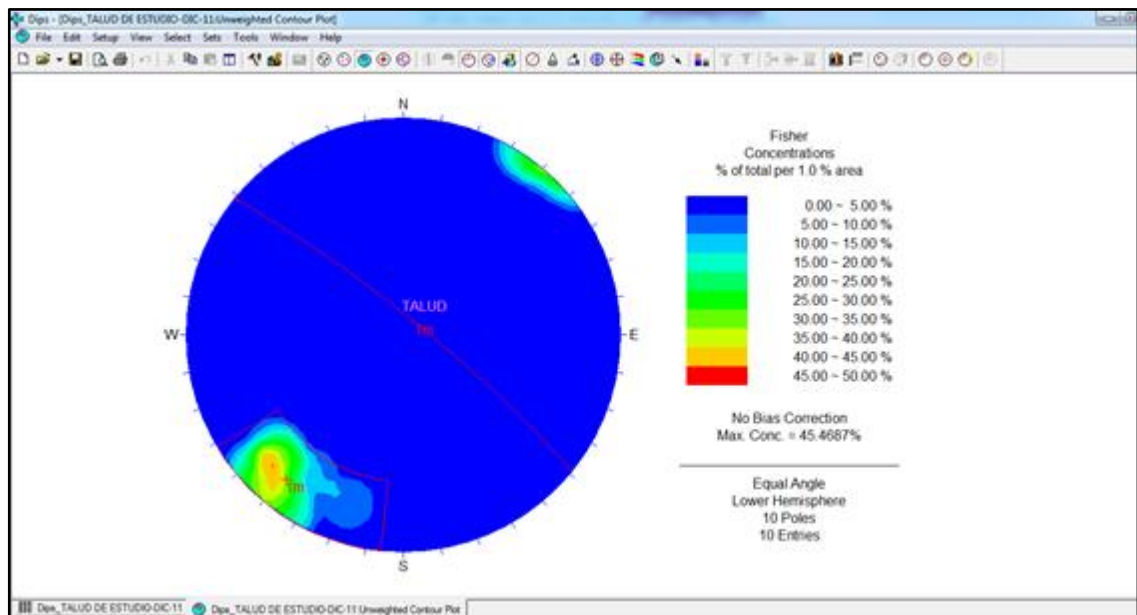


Fuente: Autor.

En la Figura 62 se muestra el plano de contorno de polos, lo cual permite establecer para el talud (perfil 1) un **rumbo de N51°W y un buzamiento medio de 81°NE**.

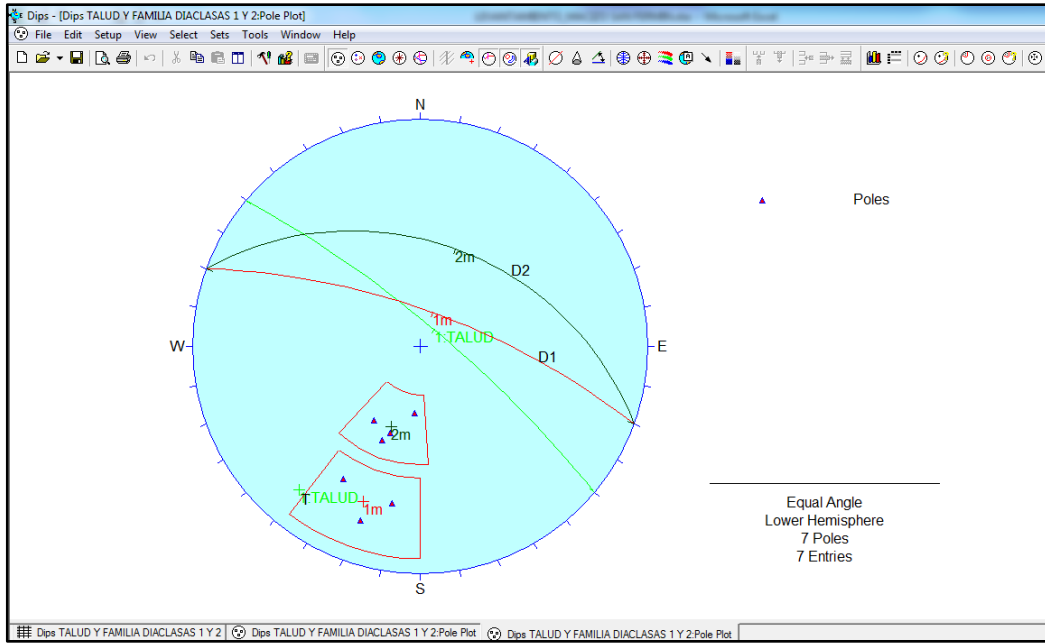
Posteriormente para el análisis cinemático se incluye la información de geología estructural tomada sobre el sector de estudio y se superpone con los datos del talud (ver Figura 63 y Figura 64).

**Figura 62.** Plano de contorno de polos para talud sector crítico.



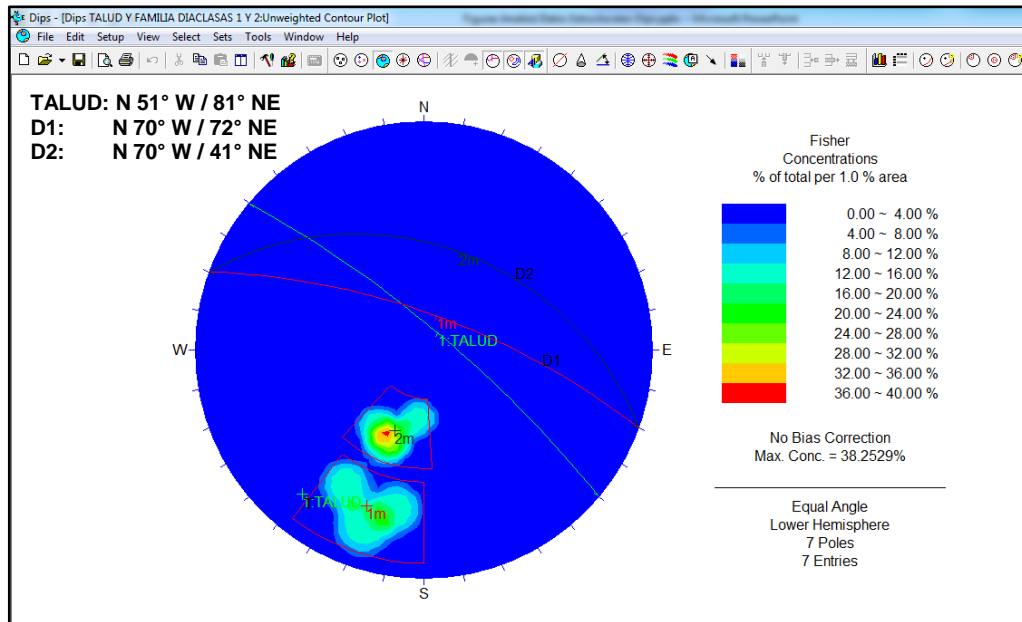
Fuente: Autor.

**Figura 63.** Diagrama de polos datos estructurales sector crítico de estudio.



Fuente: Autor.

**Figura 64.** Plano de contorno de polos para datos estructurales talud sector crítico.



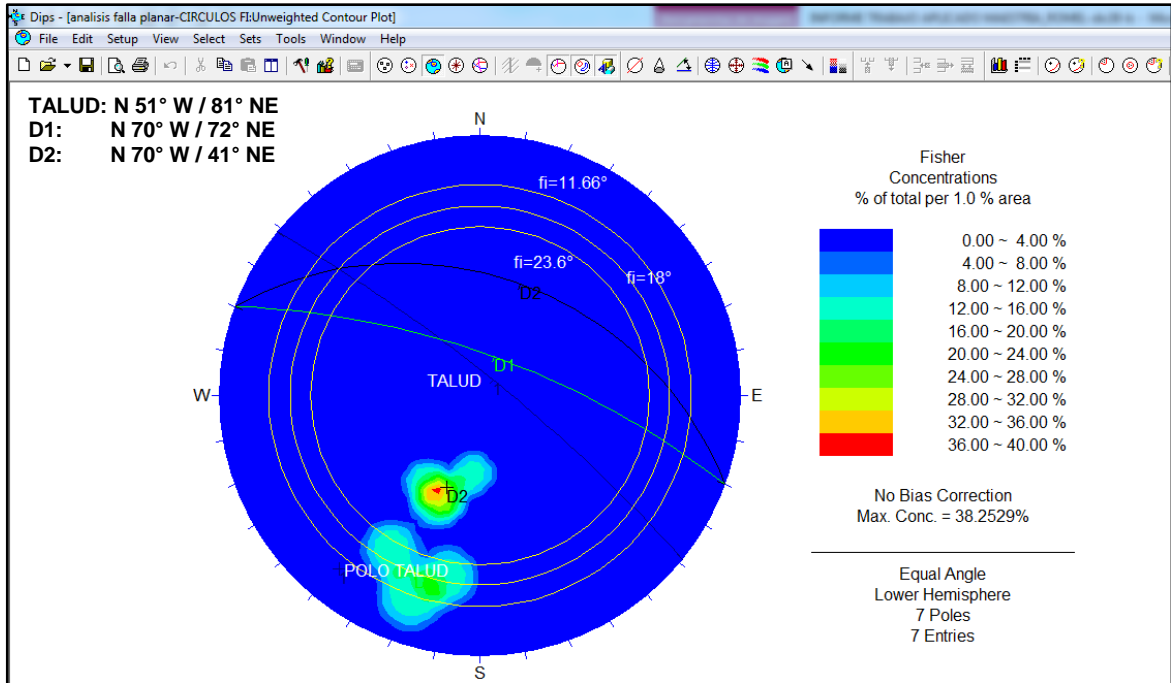
Fuente: Autor.

Del análisis con el software Dips se establece que los datos estructurales de las discontinuidades presentes en el sector crítico de estudio corresponden básicamente a dos familias de diaclasas, que tienen un rumbo del orden de  $-19^\circ$  respecto al del talud, cumpliéndose de esta manera uno de los requisitos para que se pueda presentar falla planar, y se tiene que la inclinación del talud ( $81^\circ$ ) es mayor a la inclinación de las dos diaclasas ( $D1=72^\circ$  y  $D2=41^\circ$ ). En la Figura 60 se muestra esta información.

Para analizar la condición de que la discontinuidad tiene un buzamiento  $>$  que el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) de la superficie de la discontinuidad se tomaron valores para  $\phi$  (en ausencia de datos reales de ensayos de corte en diaclasas), los obtenidos de las pruebas de corte directo drenado a materiales del talud, el obtenido por el retroanálisis realizado (se describe en el numeral 4.7) a los taludes de los perfiles 1 y 2 y datos obtenidos mediante el uso del software RocLab de Rocscience<sup>®</sup> (aclarando que los valores obtenidos con este software son extremadamente bajos – ver Anexo E). De este análisis cinemático se obtiene que la diaclasa D2 es un potencial plano de falla planar (se constató en campo que el plano de falla en el talud 2 tenía una inclinación de  $44^\circ$ , muy similar a la de la diaclasa D2).

En la Figura 65 se aprecia este análisis.

**Figura 65.** Análisis cinemático para el Talud izquierdo (Perfil 1).



Fuente: Autor.

#### 4.5.2 Trabajos de laboratorio.

Se realizaron ensayos geotécnicos de laboratorio sobre muestras alteradas e inalteradas, de: Granulometría, límites de plasticidad, humedad, peso específico relativo, peso unitario, corte directo, compresión inconfiada y ensayo de carga puntual. Con estos ensayos se determinaron las propiedades físico-mecánicas de geomateriales obtenidos mediante los trabajos de campo. Entre estas propiedades se tienen: Distribución de tamaños de grano, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, peso volumétrico ( $\gamma_m$ ), gravedad específica de los sólidos (**Ss**), ángulo de fricción interna ( $\phi$ ), cohesión (**c**) y resistencia a la compresión uniaxial (**q<sub>u</sub>**). Los ensayos de laboratorio sobre las muestras de suelo y roca se efectuaron por parte del autor en el laboratorio de suelos y pavimentos de la Universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña.

#### 4.5.2.1 Ensayos para clasificación de suelos y humedad (%).

En la Tabla 8 se muestra el resumen de los resultados de estos ensayos de laboratorio. En el Anexo F se muestran los resultados de los ensayos.

**Tabla 8.** Resultados de laboratorio (Clasificación)

Sondeo	Prof. (m)	Límite Líquido	Límite Plástico	IP	% Pasa Tamiz No.200	Humedad (%)	Clasificación	
1	1.0	33	20.3	12.7	53.75	11.93	CL	Material arcillo arenoso color marrón.
	2.0	29	24.2	4.8	47.63	14.16	SM	Material areno limo-arcilloso color marrón.
	4.0	30.5	25	5.5	30.48	26.99	SM	Material areno limo-arcilloso color marrón.
2	1.0	57	26.69	30.31	82.29	20.41	CH	Material arcillo arenoso color rojizo.
	2.0	49.5	28.76	20.74	70.33	23.37	ML	Material limo-arcillo arenoso de color marrón amarillo.
	3.0	38.5	19.56	18.94	47.63	19.87	SC	Material areno arcilloso color marrón amarillo.
	5.0	30	23.18	6.62	19.76	24.36	SM	Material areno limoso color marrón.
3	1.0	36.5	23.14	13.36	51.91	15.58	CL	Material arcillo arenoso color marrón amarillo.
	2.0	31	19.61	11.39	47.21	13.04	SC	Material areno arcilloso de color marrón amarillo. Hay fragmentos de filón pegmatítico (cuarzo).
	3.0	24	16.89	7.11	28.23	10.53	SC	Material areno arcilloso de color marrón amarillo.
	4.0	22.5	16.77	5.73	36.10	11.64	SC-SM	Material areno arcillo-limoso color marrón amarillo. Hay fragmentos de filón pegmatítico (cuarzo).
	5.0	33	21.73	11.27	51.06	18.91	CL	Material arcillo arenoso color marrón amarillo.
	6.0	30	21.33	8.67	46.43	13.56	SC	Material areno arcilloso color marrón amarillo.
	6.5	26	17.77	8.23	42.06	10.45	SC	Material areno arcilloso

Sondeo	Prof. (m)	Límite Líquido	Límite Plástico	IP	% Pasa Tamiz No.200	Humedad (%)	Clasificación	
								de color marrón amarillo. Hay fragmentos de filón pegmatítico (cuarzo).
4	1.0	40	23.56	16.44	49.47	21.31	CL	Material arcillo arenoso color marrón amarillo.
	3.0	39	23.94	15.06	55.13	16.11	CL	Material arcillo arenoso color marrón amarillo.
	5.0	34.5	22.44	12.06	40.22	15.36	SC	Material areno arcilloso de color marrón amarillo. Hay fragmentos de filón pegmatítico (cuarzo).
	6.5	36.5	22.47	14.03	55.07	28.05	CL	Material arcillo arenoso color marrón amarillo.
	7.0	33	21.73	11.27	51.06	17.85	CL	Material arcillo arenoso color marrón amarillo.
	8.0	31	20.87	10.13	30.04	11.91	SC	Material areno arcilloso de color marrón amarillo. Hay fragmentos de filón pegmatítico (cuarzo).
	9.0	25	18.73	6.27	23.38	9.02	SC-SM	Material areno arcilloso de color marrón amarillo. Hay fragmentos de filón pegmatítico (cuarzo).
5	1.0	38	22.69	15.31	46.26	21.60	SC	Material areno arcilloso de color marrón amarillo. Corresponde de depósito de deslizamiento reciente.
	2.0	31	20.87	10.13	30.04	14.71	SC	Material areno arcilloso de color marrón amarillo.
	2.5	26.5	18.72	7.78	53.90	16.31	CL	Material arcillo arenoso color marrón amarillo.

Fuente: Autor.

#### 4.5.2.2 Ensayos para ángulo de fricción interna, cohesión, peso unitario, peso específico relativo y compresión confinada.

En las Tablas 9 y 10 se muestra el resumen de los resultados de estos ensayos de laboratorio. En el Anexo F se muestran los resultados de los ensayos.

**Tabla 9.** Resultados de laboratorio (propiedades físicas y mecánicas).

Sitio	Prof. (m)	Ángulo de fricción $\phi$ (°)	Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	Resistencia a la compresión inconfiada (kg/cm <sup>2</sup> )
Escarpe zona deslizamiento (perfil 3)	2.0	23.57	0.272	2.05	-
Corona perfil lzq. (perfil 1).	5.0	26.17	0.209	2.06	-
Parte baja talud (sondeo 1)	2.6	-	-	2.05	0.85*
	3.8	-	-	2.11	1.65*
* La falla de presente por una discontinuidad (Ver Formato de Resultados en Anexo F)					

Fuente: Autor.

**Tabla 10.** Resultados de laboratorio (pesos unitarios).

Sitio	Prof. (m)	Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )
Sondeo 1 (parte baja talud)	1.0	1.87
Sondeo 2 (parte alta talud)	0.5	1.93
	1.5	2.09
	4.0	2.5*
	* Fragmento Roca.	
Sondeo 3 (parte alta talud)	1.0	1.85
	2.0	2.03
	3.0	2.07
	4.0	2.02
	5.0	2.05
	6.0	2.03
	6.75	2.24
Sondeo 4 (corona talud)	1.0	1.88
	2.0	1.92
	3.0	2.02
	5.0	1.98
	8.0	2.14

Sitio	Prof. (m)	Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )
Sondeo 5 (pata talud-perfil 1)	1.0	1.99
	2.0	2.08
	2.6	2.21

Fuente: Autor.

#### 4.5.2.3 Ensayos de carga puntual.

Se tomaron varios bloques de roca en un sector donde en la zona de estudio para realizar pruebas de carga puntual y tener de esta manera información adicional para la determinación de la resistencia a la compresión uniaxial requerida en la evaluación del factor geológico de los factores de valuación (ver capítulo 5). Las pruebas se realizaron sobre especímenes de forma irregular [19]. Se obtuvo un valor medio de  $I_{s(50)} = 0.5613 \text{ MPa}$  que por correlación corresponde una resistencia a la compresión inconfiada de  $\sigma_{c1} = 11.23 \text{ MPa}$ . En el Anexo F se muestran los resultados de estos ensayos.

#### 4.6 ANALISIS DE RESULTADOS E INTEGRACION DE DATOS PARA MODELO GEOTECNICO.

Con el objeto de establecer el modelo geotécnico para el análisis de estabilidad se integró la información de geología, topografía, sondeos, ensayos de campo y laboratorio e información identificada en el terreno.

#### **4.6.1 Geometría y estratigrafía.**

Para la geometría del modelo se utilizaron los perfiles detallados obtenidos para la sección izquierda (perfil 1) y central (perfil 2) que son los taludes más críticos presentes en la zona de estudio. Para la estratigrafía se tomó el perfil de geomateriales identificados en campo y mediante los sondeos, el cual corresponde a un perfil compuesto por suelos residuales entre 0.0 m y 7.0 m en la parte superior del talud y entre 0.0 m y 2.5 m en la parte baja del mismo. Por debajo de estos materiales se encuentra continuación de horizontes de materiales del saprolito y transición del saprolito a roca parcialmente meteorizada.

#### **4.6.2 Propiedades de los geomateriales.**

Se utilizó el sistema de parámetros totales de resistencia, de acuerdo a la teoría de Mohr-Coulomb obtenidos en ensayos de corte directo drenado, en correlaciones con resultados de ensayos SPT, en estudios anteriores realizados en la zona de estudio y los obtenidos por retroanálisis de los deslizamientos ocurridos recientemente en la zona de estudio.

En la Tabla 11 se muestra el resumen de parámetros utilizados para el modelo geotécnico.

**Tabla 11.** Parámetros utilizados en el modelamiento.

<b>Material<sup>6</sup></b>		<b>Peso unitario kN/m<sup>3</sup></b>	<b>Ángulo de fricción “<math>\phi</math>” (°)</b>	<b>Cohesión kN/m<sup>2</sup></b>
Suelo Residual	Muy Suelto	18.44	21.77	17.60
	Suelto	18.93	21.77	17.60
	Medio Duro	19.82	23.17	26.64
	Duro	20.31	26.17	20.52
	Saprolito	20.99	27.71	27.76

Fuente: Autor.

Para el análisis de estabilidad con obras proyectadas se realizó el análisis tomando para el suelo residual medio duro (horizonte donde se pueden desarrollar las potenciales superficies de falla de acuerdo a lo observado en visita de campo) los parámetros encontrados con el “retro cálculo”<sup>7</sup> [20] [21], se muestran en la Tabla 12 y los detalles de este análisis se encuentran en el anexo G. Este análisis se realizó para el talud central (perfil 2) tanto con el software RocPlane de Rocscience<sup>®</sup> como con Slope/W de GeoStudio<sup>®</sup>.

**Tabla 12.** Parámetros obtenidos con retro cálculo para falla talud central (perfil 2).

<b>Material</b>		<b>Peso unitario kN/m<sup>3</sup></b>	<b>Ángulo de fricción “<math>\phi</math>” (°)</b>	<b>Cohesión kN/m<sup>2</sup></b>
Suelo Residual Medio Duro	Rocplane	19.82	18	18.3
	Slope/W		18	15.5

Fuente: Autor.

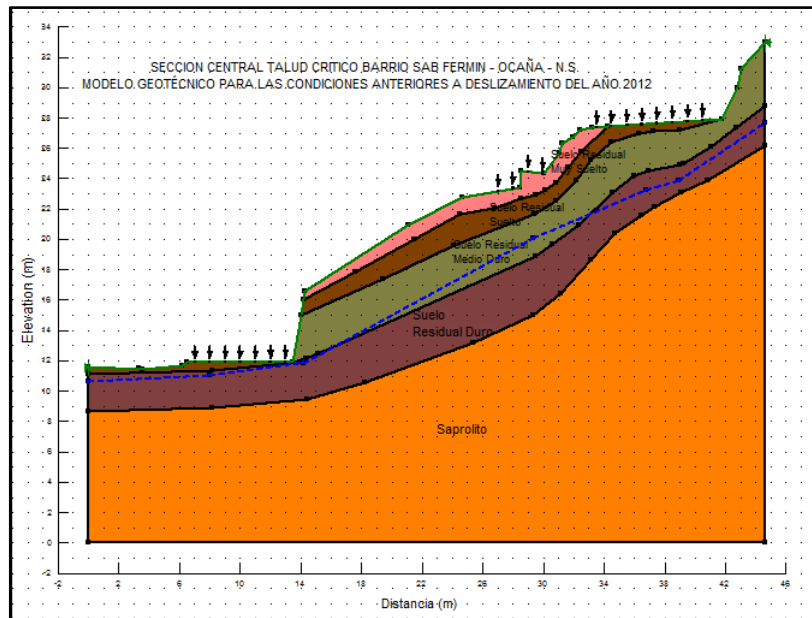
<sup>6</sup> Deere, D.U., Patton F.D. 1971. Slope stability in residual soils. En Proc., Fourth Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Puerto Rico. Vol. 1, Pág. 87-170.

<sup>7</sup> Método mediante el cual se ajustan los parámetros de resistencia del suelo hasta obtener un factor de seguridad de 1.0 y la superficie de falla se asemeje a la presentada por la falla del talud

### 4.6.3 Modelo geotécnico.

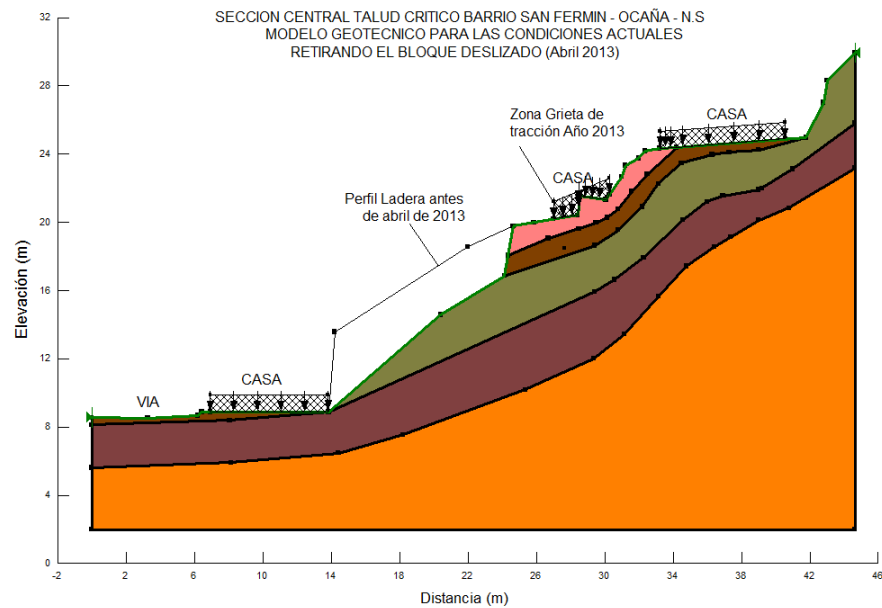
Para el caso de los taludes más críticos el modelo geotécnico se analizó con el uso del software Slope/W. En la Figura 66 y Figura 67 se aprecia dicho modelo para el talud central (perfil 2) antes y después del deslizamiento de abril de 2013, en la Figura 68 y Figura 69 se aprecia el modelo geotécnico para el talud izquierdo (perfil 1) antes y después del deslizamiento de abril de 2012.

**Figura 66.** Modelo geotécnico para el talud central (perfil 2) antes del deslizamiento del año 2013.



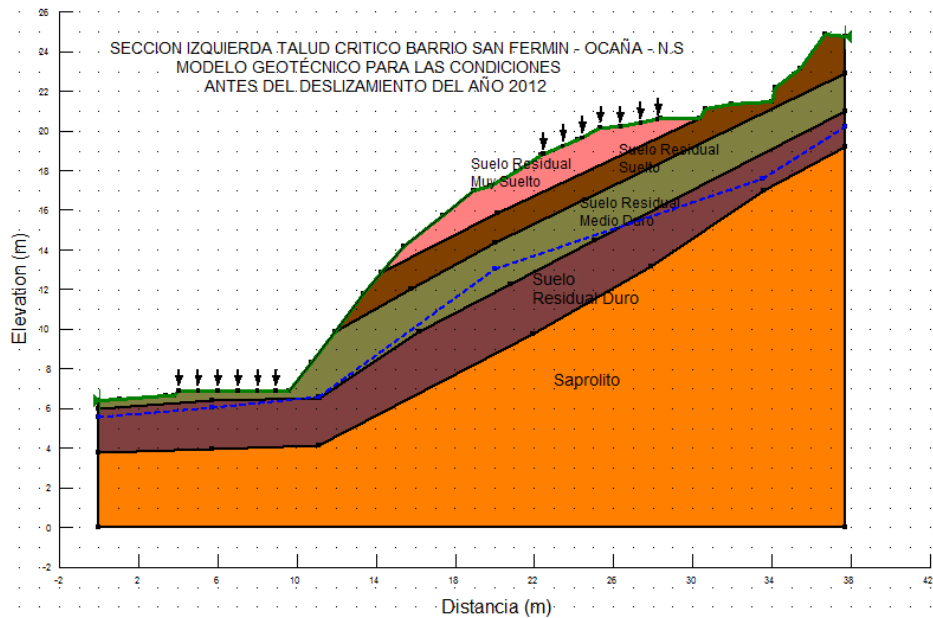
Fuente. Autor.

**Figura 67.** Modelo geotécnico para el talud central (perfil 2) después del deslizamiento del año 2013 (retirando el bloque deslizado).



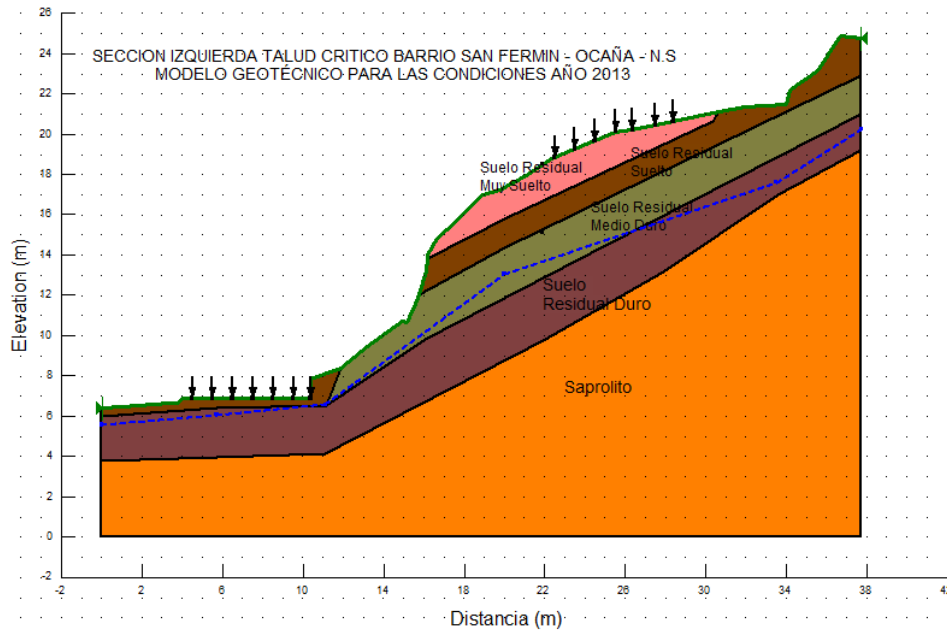
Fuente: Autor.

**Figura 68.** Modelo geotécnico para el talud izquierdo (perfil 1) antes del deslizamiento del año 2012.



Fuente: Autor.

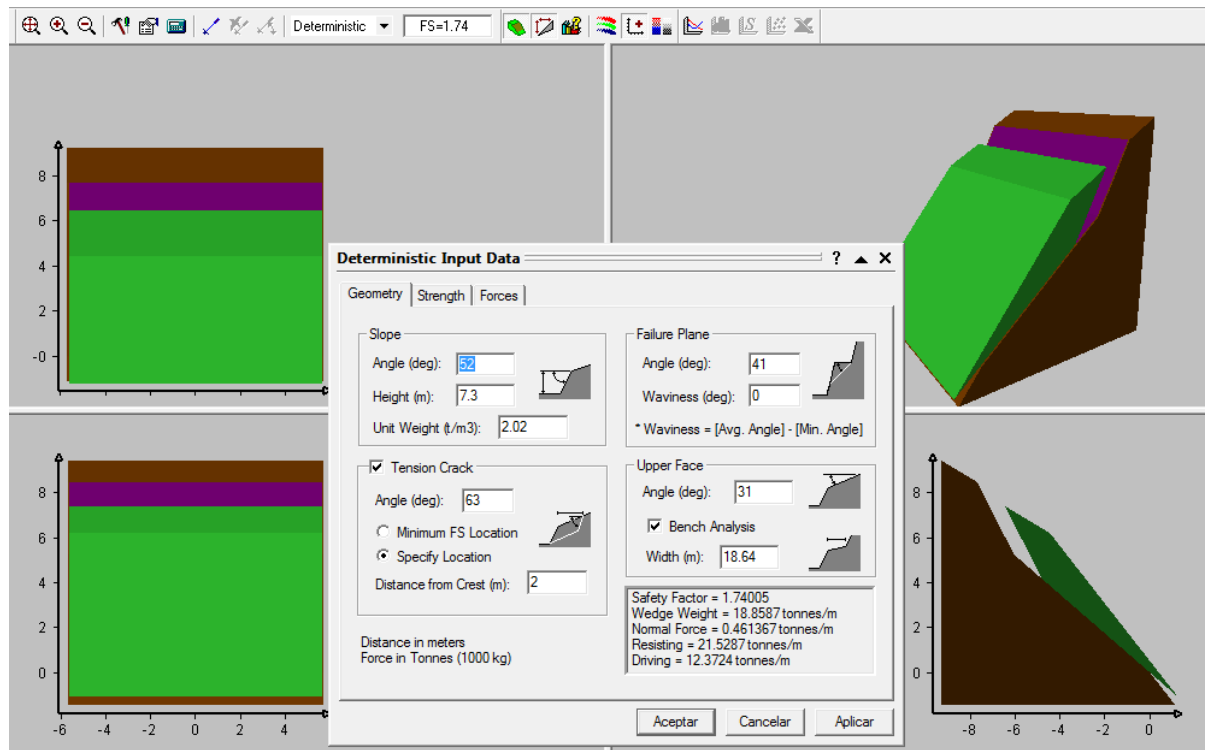
**Figura 69.** Modelo geotécnico para el talud izquierdo (perfil 1) después del deslizamiento del año 2012.



Fuente: Autor.

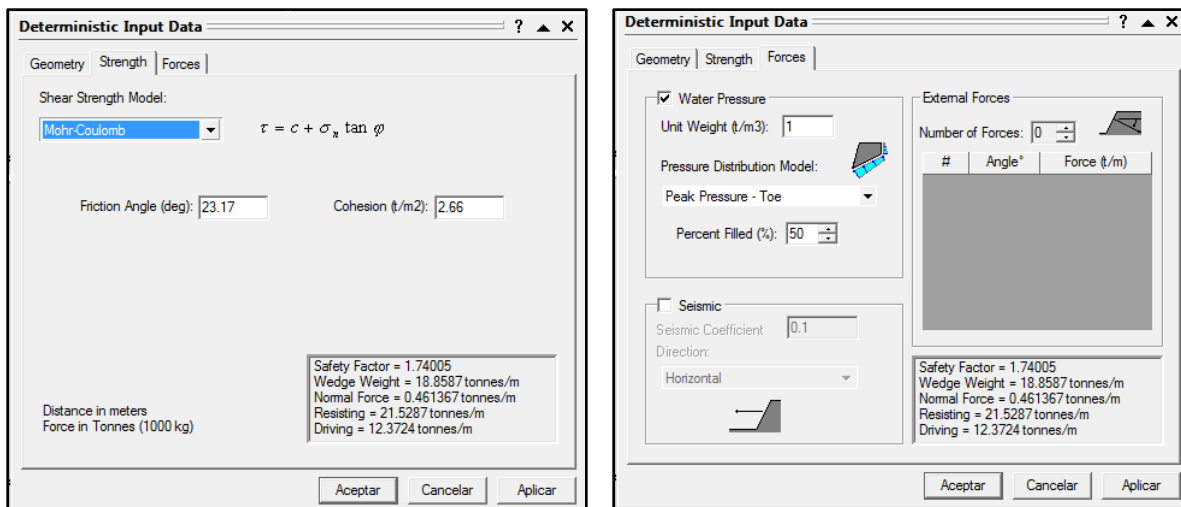
El modelo para el análisis con el software RocPlane consta de un solo tipo de material que se asume con las propiedades del suelo residual medio duro, la geometría se adecua a las opciones que da el programa incluyendo grieta de tensión con presencia de agua. En la Figura 70 y figura 71 se muestran las características del modelo para talud izquierdo (perfil 1) antes y actual respectivamente y en la Figura 72 y Figura 73 para el talud central (perfil 2).

**Figura 70.** Características modelo geotécnico para el talud izquierdo (perfil 1) antes del deslizamiento del año 2012, software RocPlane. a) (Geometría)



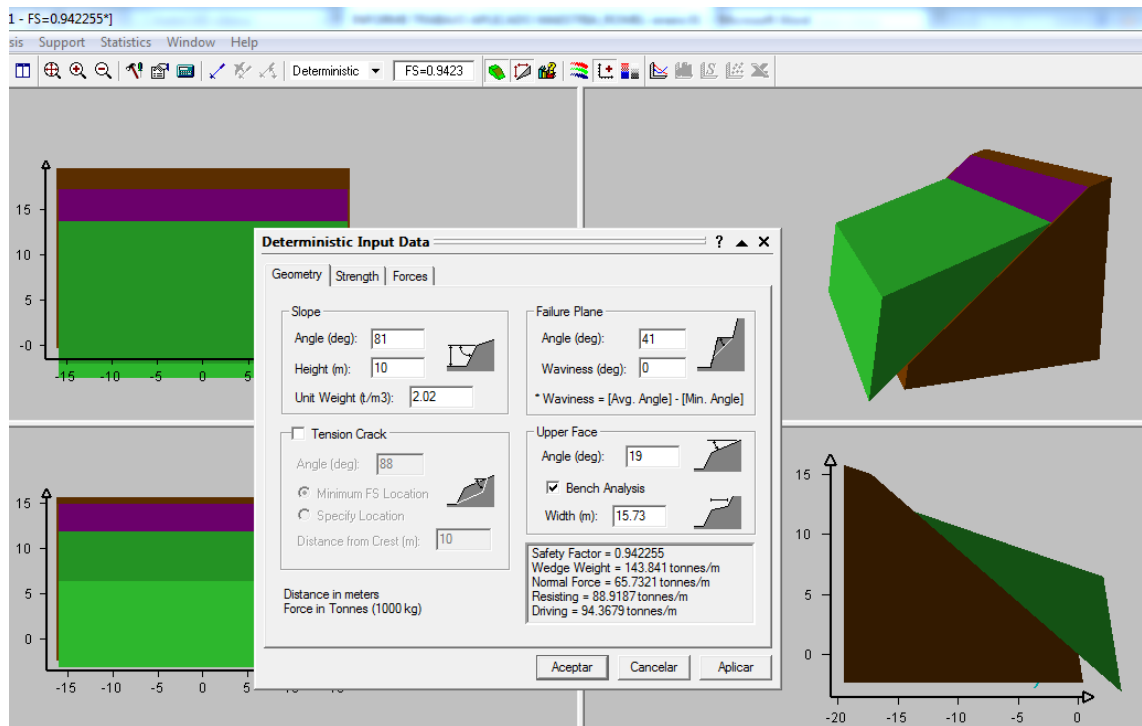
Fuente: Autor.

b) (Resistencia y Fuerzas actuantes).



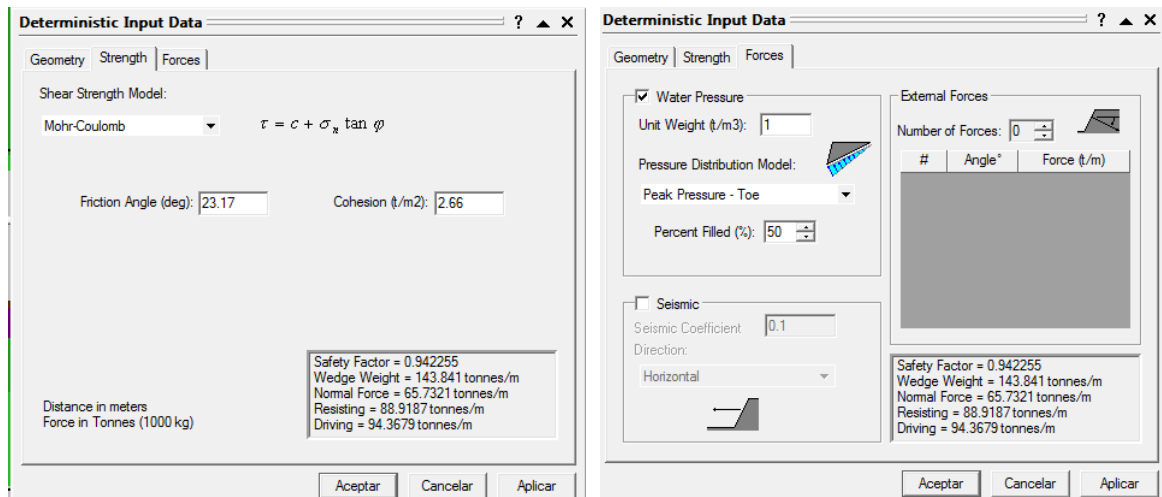
Fuente: Autor.

**Figura 71.** Características modelo geotécnico para el talud izquierdo (perfil 1) condición actual, software RocPlane. a) (Geometría)



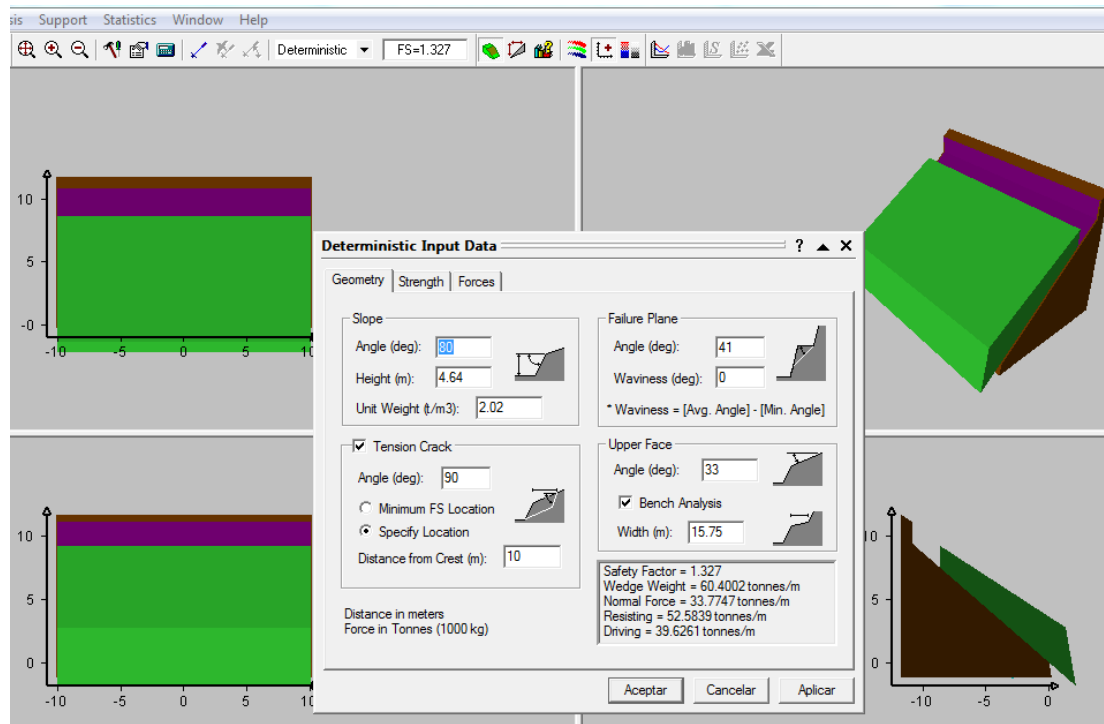
Fuente: Autor

b) (Resistencia y Fuerzas actuantes).



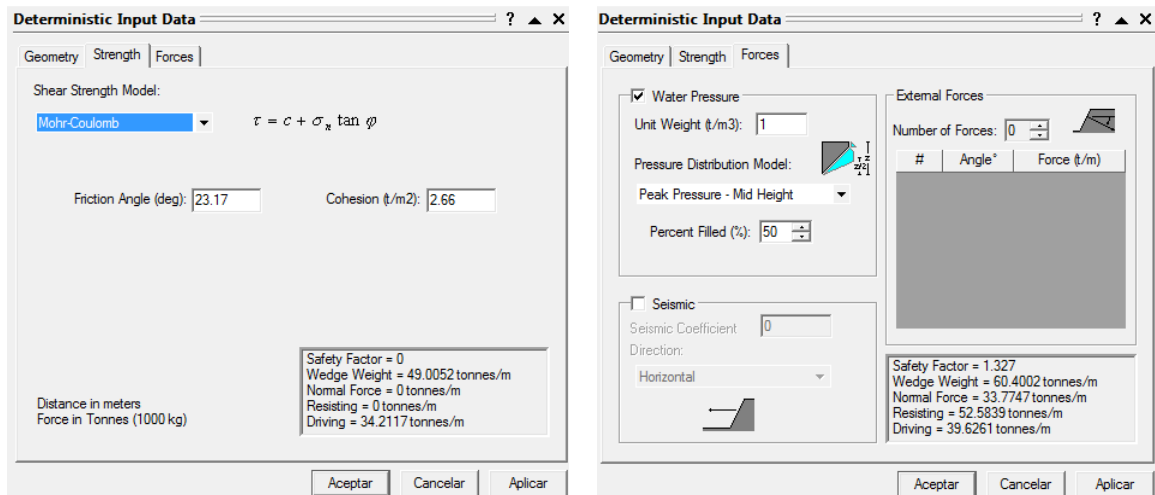
Fuente: Autor.

**Figura 72.** Características modelo geotécnico para el talud central (perfil 2) antes del deslizamiento del año 2013, software RocPlane. a) (Geometría)



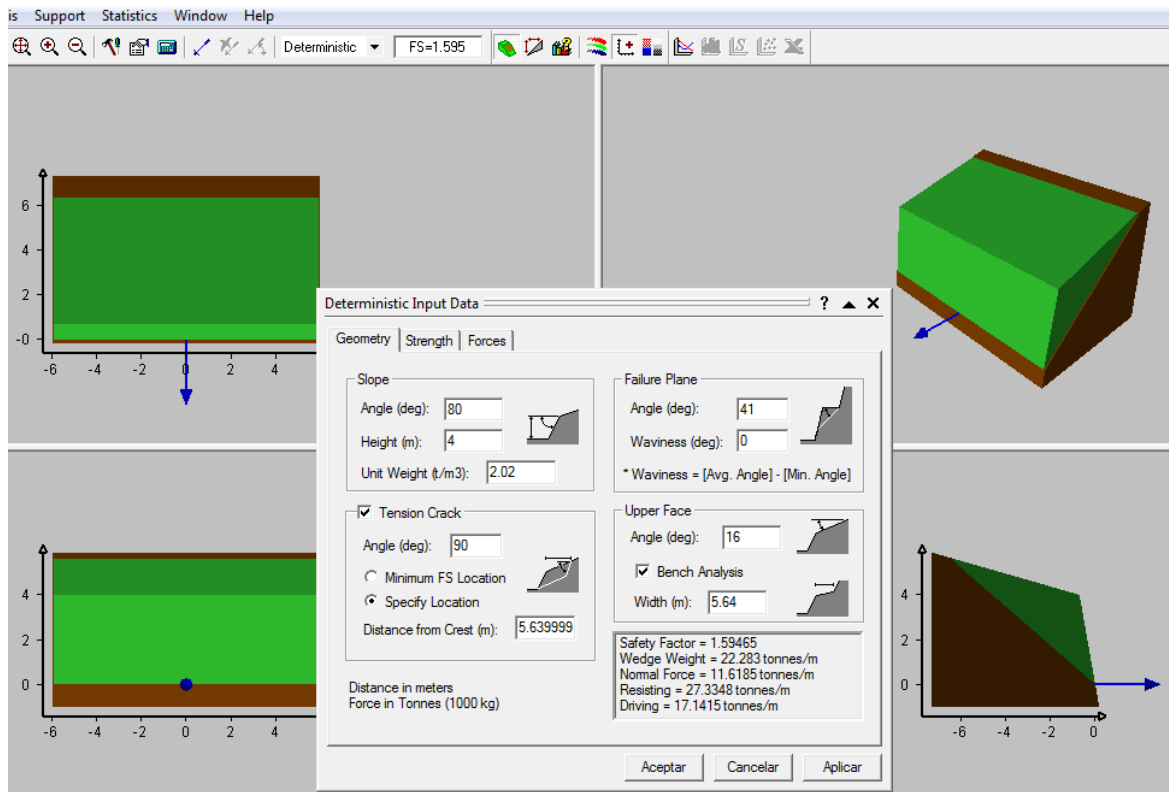
Fuente: Autor.

b) (Resistencia y Fuerzas actuantes).



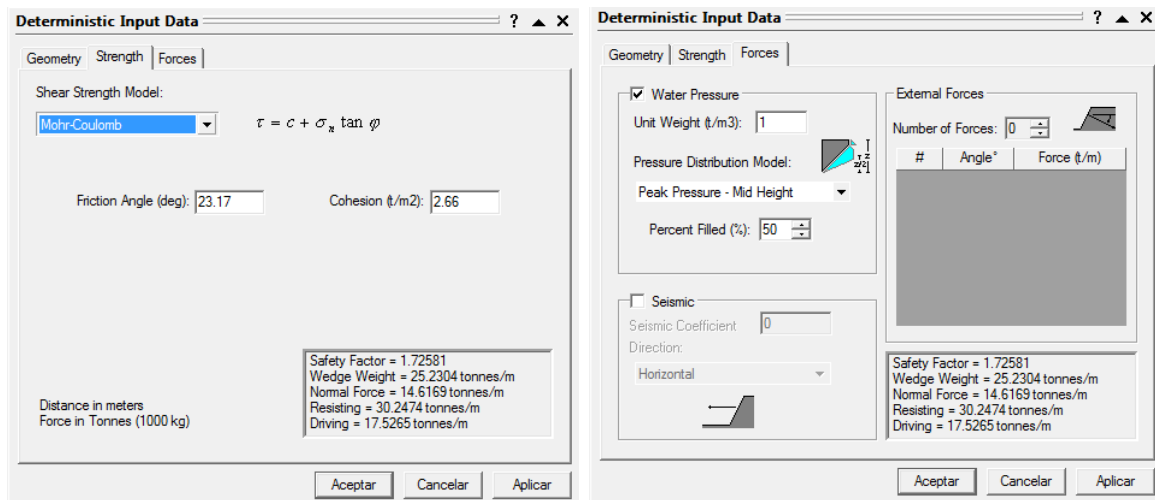
Fuente: Autor.

**Figura 73.** Características modelo geotécnico para el talud central (perfil 2) condición actual, software RocPlane. a) (Geometría)



Fuente: Autor.

b) (Resistencia y Fuerzas actuantes).



Fuente: Autor.

## **4.7 ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES**

El análisis de estabilidad se realiza con el fin de conocer los factores de seguridad que presentan los taludes en la condición actual y los que tenían antes de ocurrir los deslizamientos de los años 2012 y 2013. Teniendo en cuenta las condiciones descritas en 4.4.3.1, los resultados del análisis de admisibilidad cinemática mostrado en 4.5.1.6 y lo observado en campo, el análisis de estabilidad se realizó para los dos taludes más críticos presentes en el sector de estudio (Talud izquierdo (perfil 1) y talud central (perfil 2) mediante el uso de dos software: El primero el RocPlane realiza un análisis de falla planar por equilibrio límite y el segundo el Slope/W que también utiliza la teoría de equilibrio límite para analizar los factores de seguridad en deslizamientos de taludes, incorporando las metodologías de Bishop, Fellenius, Jambu y una más que se puede escoger entre Spencer, Morgenstern-Price, cuerpo de ingenieros y otros. Se escogió Spencer para el análisis como uno de los métodos que incorpora equilibrio de fuerzas y momentos, con este software se realizará análisis para “Block specified slip surface” y “Grid and radius for circular slips”<sup>8</sup>.

### **4.7.1 Análisis talud central antes y después de la falla.**

Se realiza el análisis para condición estática y la condición con sismo (pseudostática).

---

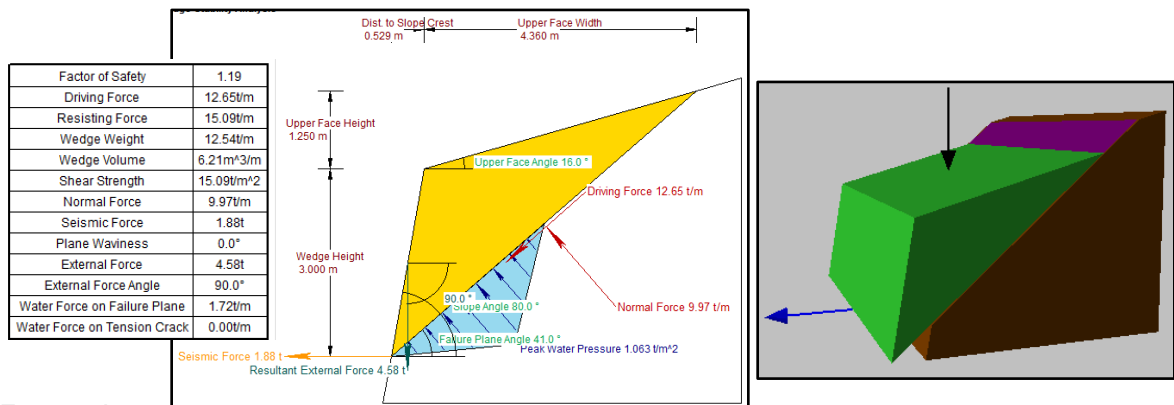
<sup>8</sup> Stability Modeling with SLOPE/W 2007 Version. Third Edition, March 2008. GEO-SLOPE International Ltd. Alberta, Canada., 367p.

#### 4.7.1.1 Análisis Falla Planar con RocPlane.

En el Anexo H se muestran los resultados gráficos del análisis en condición estática y dinámica con el software RocPlane para el caso antes del deslizamiento de 2013 y la condición actual. Para la condición dinámica se tomó una relación  $K_{ST}/a_{max}$  de 0.8<sup>9</sup>, de acuerdo a la Tabla H.5.2-1 de la NSR-10 (Suelos, enrocados y macizos rocosos muy fracturados (RQD<50%) [22]. En la Figura 74 se aprecia el resultado para el talud central condición actual, caso dinámico.

En la Tabla 13 se resumen los resultados para el talud central en condición estática y dinámica. Caso antes y después del deslizamiento de 2013.

**Figura 74.** Análisis con Rocplane para falla planar Talud central actual. Dinámico.



Fuente: Autor.

<sup>9</sup> Podría tomarse un valor hasta de 0.5 teniendo en cuenta que la fuerza sísmica no es una fuerza que actúa todo el tiempo.

**Tabla 13.** Resultados análisis falla planar talud central RocPlane.

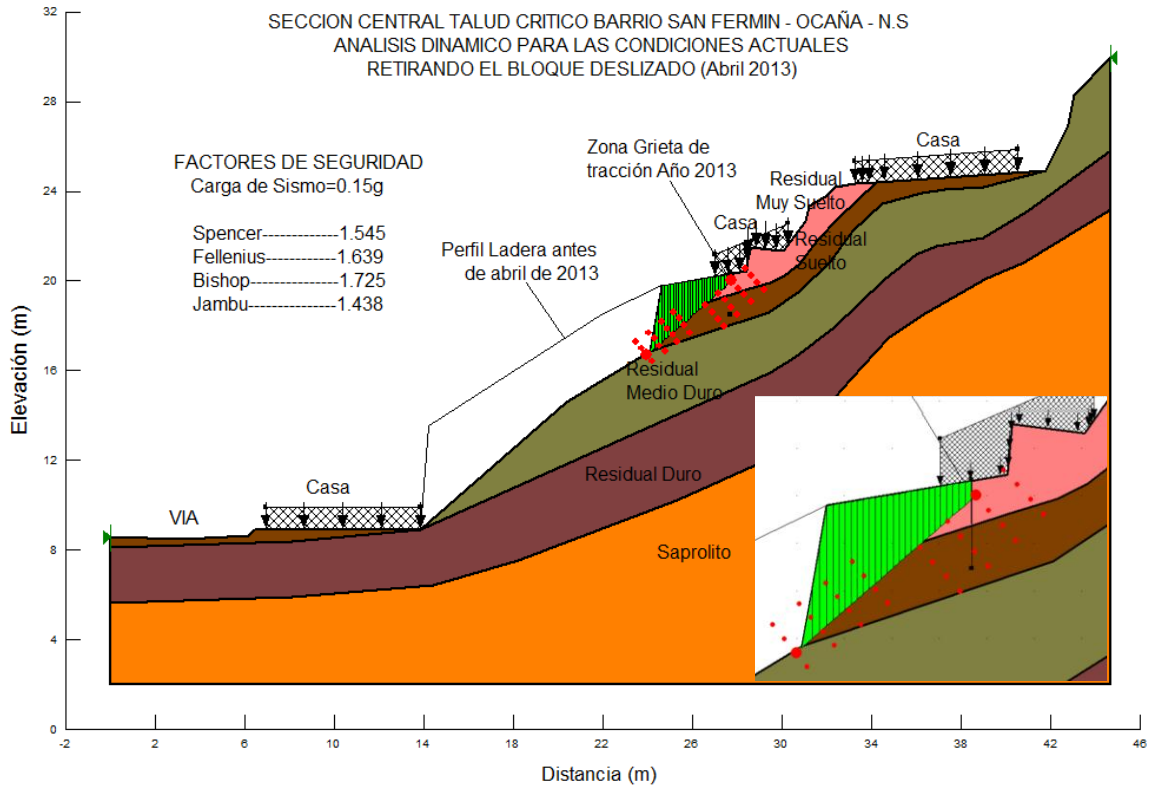
Talud/condición	Parámetros de Resistencia	Factor de Seguridad	
		Estático	Dinámico
Talud central (perfil 2) / antes del deslizamiento del año 2013	Datos corte Directo: $\phi=23.17^\circ$ $c=26.6$ kPa	1.268	1.041
	Datos RocLab: $\phi=11.85^\circ$ $c=6$ kPa	0.203	0.150
	Datos Retro cálculo: $\phi=18^\circ$ $c=18.3$ kPa	0.899	0.736
Talud central (perfil 2) / condición actual	Datos corte Directo: $\phi=23.17^\circ$ $c=26.6$ kPa	1.961	1.699
	Datos RocLab: $\phi=11.85^\circ$ $c=6$ kPa	0.555	0.472
	Datos Retro Cálculo $\phi=18^\circ$ $c=18.3$ kPa	1.005	0.872

Fuente: Autor.

#### 4.7.1.2 Análisis Falla por Bloque con Slope/W.

En el Anexo H se muestran los resultados gráficos del análisis en condición estática y dinámica con el software Slope/W, para el caso antes del deslizamiento de 2013 y la condición actual. Para la condición dinámica se tomó la misma consideración que en el análisis con RocPlane. En la Figura 75 se aprecia el resultado para el talud central condición actual, caso dinámico.

**Figura 75.** Análisis con Slope/w falla en bloque Talud central actual. Dinámico.



Fuente: Autor.

En la Tabla 14 se resumen los resultados para el talud central en condición estática y dinámica. Caso antes y después del deslizamiento de 2013.

**Tabla 14.** Resultados análisis falla en bloque talud central Slope/W.

Talud/condición	Parámetros de Resistencia	Factor de Seguridad	
		Estático	Dinámico
Talud central (perfil 2) / antes del deslizamiento del año 2013	Datos corte Directo: $\phi=23.17^\circ$ $c=26.6$ kPa	1.44	1.164
	Datos RocLab: $\phi=11.85^\circ$ $c=6$ kPa	0.57	0.426
	Datos Retro	1.082	0.852

Talud/condición	Parámetros de Resistencia	Factor de Seguridad	
		Estático	Dinámico
	cálculo: $\phi=18^\circ$ c=18.3 kPa		
Talud central (perfil 2) / condición actual	Datos corte Directo: $\phi=23.17^\circ$ c=26.6 kPa	1.786	1.545
	Datos Retro Cálculo $\phi=18^\circ$ c=18.3 kPa	1.533	1.356

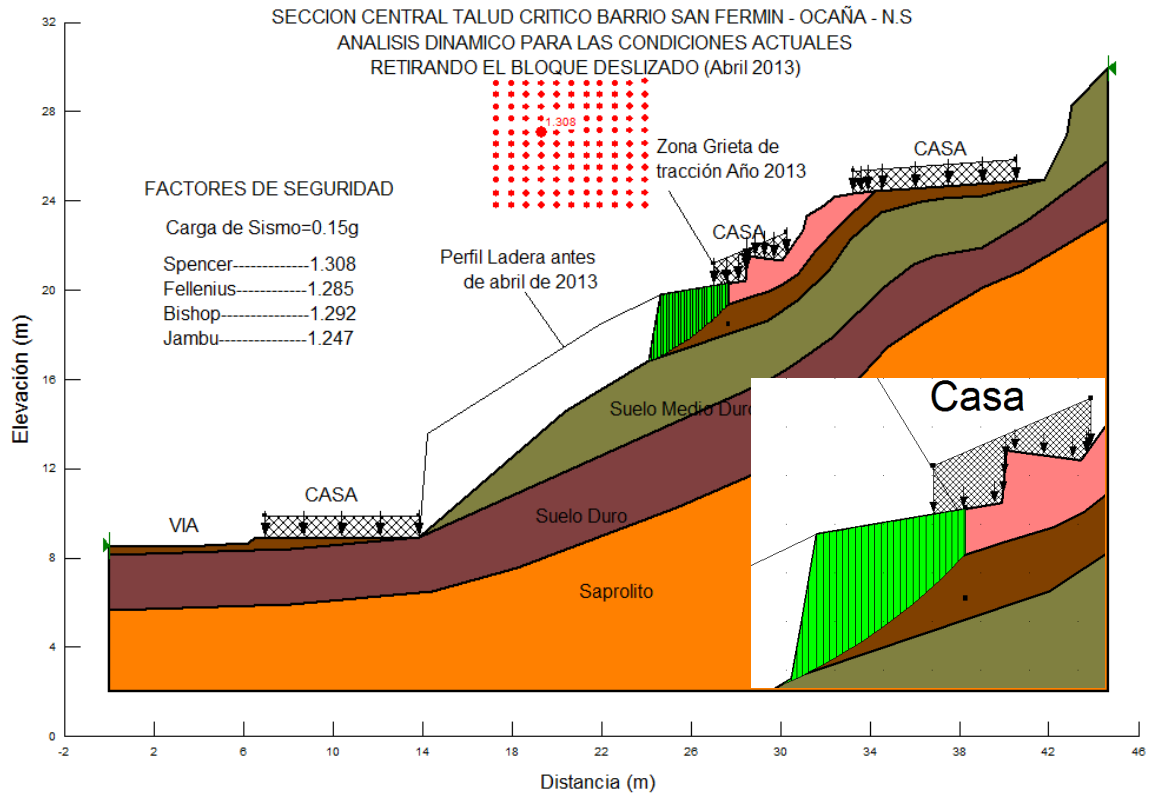
- Fuente: Autor.

#### 4.7.1.3 Análisis Falla Circular con Slope/W.

En el Anexo H se muestran los resultados gráficos del análisis en condición estática y dinámica con el software Slope/W, para el caso antes del deslizamiento de 2013 y la condición actual. Para la condición dinámica se tomó la misma consideración que en el análisis con RocPlane. En la Figura 76 se aprecia el resultado para el talud central condición actual, caso dinámico.

En la Tabla 15 se resumen los resultados para el talud central en condición estática y dinámica. Caso antes y después del deslizamiento de 2013.

**Figura 76.** Análisis con Slope/w falla circular Talud central actual. Dinámico.



Fuente: Autor.

**Tabla 15.** Resultados análisis falla circular talud central Slope/W.

Talud/condición	Parámetros de Resistencia	Factor de Seguridad	
		Estático	Dinámico
Talud central (perfil 2) / antes del deslizamiento del año 2013	Datos corte Directo: $\phi=23.17^\circ$ $c=26.6$ kPa	1.375	1.105
	Datos RocLab: $\phi=11.85^\circ$ $c=6$ kPa	0.537	0.428
	Datos Retro cálculo: $\phi=18^\circ$ $c=18.3$ kPa	0.945	0.758
Talud central (perfil 2) / condición actual	Datos corte Directo: $\phi=23.17^\circ$ $c=26.6$ kPa	1.649	1.308
	Datos Retro Cálculo $\phi=18^\circ$ $c=18.3$ kPa	1.534	1.308

Fuente: Autor.

## 4.7.2 Análisis talud izquierdo antes y después de la falla.

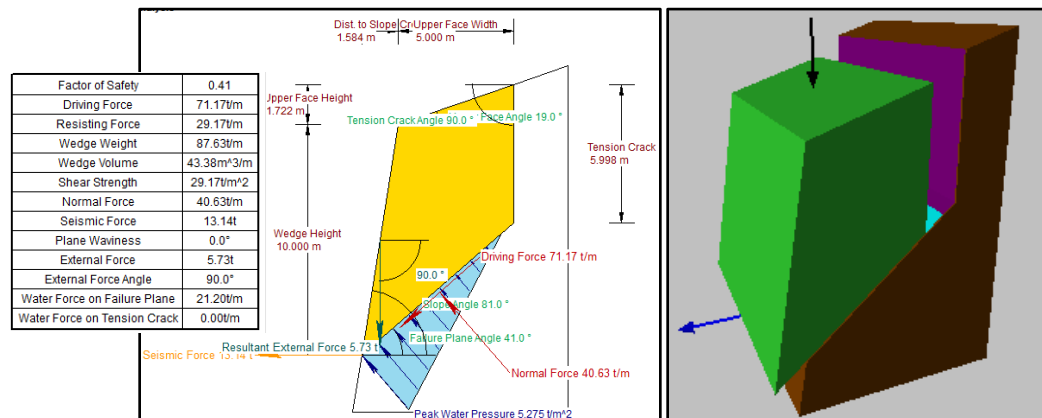
Se realiza el análisis para condición estática y la condición con sismo (pseudostática).

### 4.7.2.1 Análisis Falla Planar con RocPlane.

En el Anexo H se muestran los resultados gráficos del análisis en condición estática y dinámica con el software RocPlane para el caso antes del deslizamiento de 2012 y la condición actual. Para la condición dinámica se tomó una relación  $K_{ST}/a_{max}$  de 0.8. En la Figura 77 se aprecia el resultado para la condición actual, caso dinámico.

En la Tabla 16 se resumen los resultados para el talud izquierdo en condición estática y dinámica. Caso antes y después del deslizamiento de 2012.

**Figura 77.** Análisis con Rocplane para falla planar Talud Izquierdo actual. Dinámico.



Fuente: Autor.

**Tabla 16.** Resultados análisis falla planar talud izquierdo RocPlane.

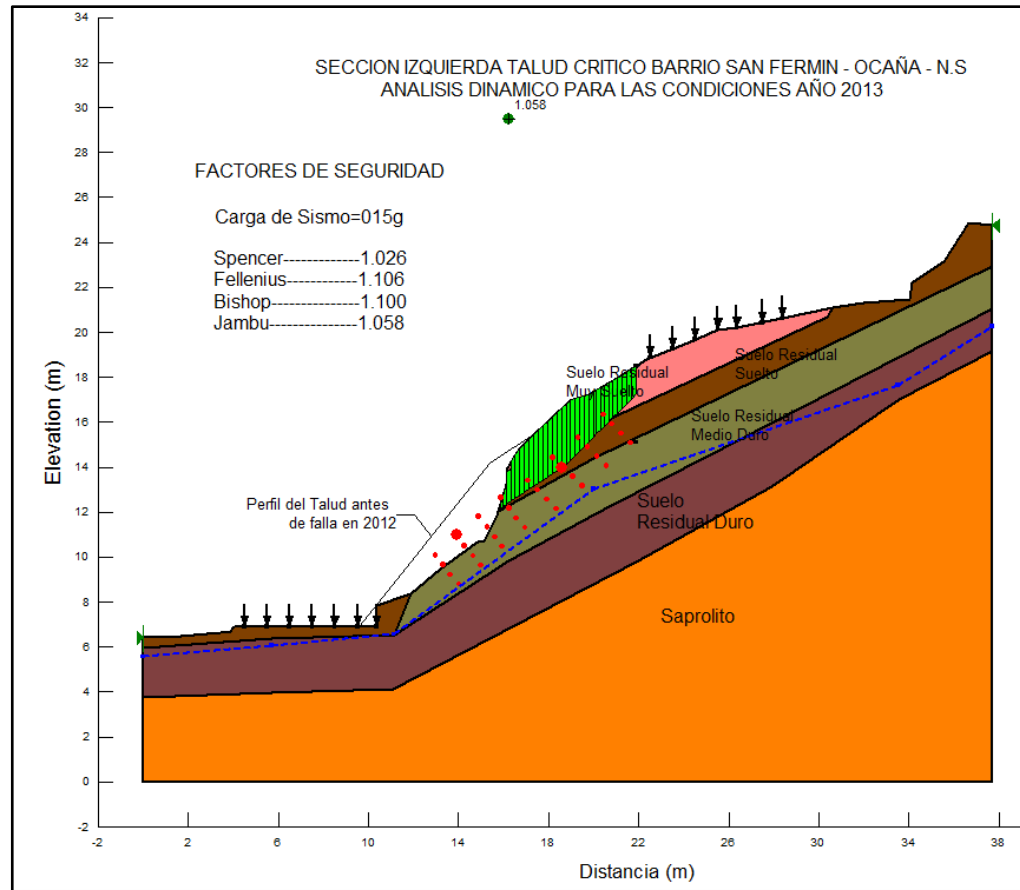
Talud/condición	Parámetros de Resistencia	Factor de Seguridad	
		Estático	Dinámico
Talud izquierdo (perfil 1) / antes del deslizamiento del año 2012	Datos corte Directo: $\phi=23.17^\circ$ c=26.6 kPa	1.74	1.48
	Datos RocLab: $\phi=11.85^\circ$ c=6 kPa	0.441	0.349
	Datos Retro cálculo: $\phi=18^\circ$ c=18.3 kPa	1.267	1.039
Talud izquierdo (perfil 1) / condición actual	Datos corte Directo: $\phi=23.17^\circ$ c=26.6 kPa	0.738	0.575
	Datos RocLab: $\phi=11.85^\circ$ c=6 kPa	0.255	0.191
	Datos Retro Cálculo $\phi=18^\circ$ c=18.3 kPa	0.523	0.410

Fuente: Autor.

#### 4.7.2.2 Análisis Falla por Bloque con Slope/W.

En el Anexo H se muestran los resultados gráficos del análisis en condición estática y dinámica con el software Slope/W, para el caso antes del deslizamiento de 2012 y la condición actual. Para la condición dinámica se tomó la misma consideración que en el análisis con RocPlane. En la Figura 78 se aprecia el resultado para el talud central condición actual, caso dinámico.

**Figura 78.** Análisis con Slope/w falla en bloque talud izquierdo actual. Dinámico.



Fuente: Autor.

En la Tabla 17 se resumen los resultados para el talud central en condición estática y dinámica. Caso antes y después del deslizamiento de 2012.

**Tabla 17.** Resultados análisis falla en bloque talud izquierdo Slope/W.

Talud/condición	Parámetros de Resistencia	Factor de Seguridad	
		Estático	Dinámico
Talud izquierdo (perfil 1) / antes del deslizamiento del año 2012	Datos corte Directo: $\phi=23.17^\circ$ c=26.6 kPa	1.906	1.589
	Datos RocLab: $\phi=11.85^\circ$ c=6 kPa	0.609	0.494
	Datos Retro cálculo: $\phi=18^\circ$ c=18.3 kPa	1.243	1.042
Talud izquierdo (perfil 1) / condición actual	Datos corte Directo: $\phi=23.17^\circ$ c=26.6 kPa	1.463	1.192
	Datos RocLab: $\phi=11.85^\circ$ c=6 kPa	0.716	0.565
	Datos Retro Cálculo $\phi=18^\circ$ c=18.3 kPa	1.274	1.026

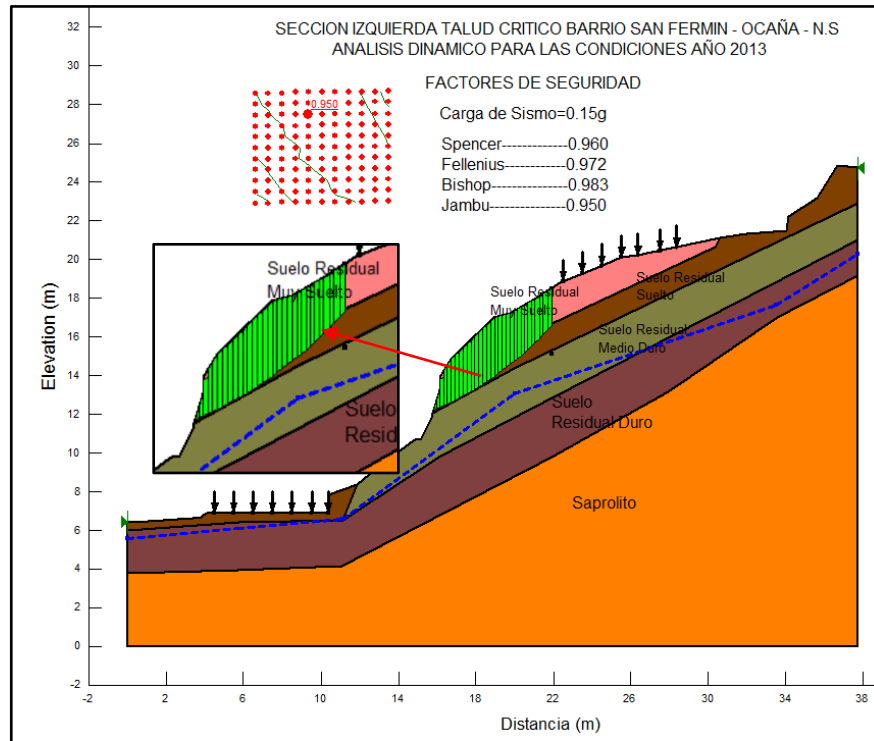
- Fuente: Autor.

#### 4.7.2.3 Análisis Falla Circular con Slope/W.

En el Anexo H se muestran los resultados gráficos del análisis en condición estática y dinámica con el software Slope/W, para el caso antes del deslizamiento de 2013 y la condición actual. Para la condición dinámica se tomó la misma consideración que en el análisis con RocPlane. En la Figura 79 se aprecia el resultado para el talud central condición actual, caso dinámico.

En la Tabla 18 se resumen los resultados para el talud izquierdo en condición estática y dinámica. Caso antes y después del deslizamiento de 2012.

**Figura 79.** Análisis con Slope/w falla circular Talud izquierdo actual. Dinámico.



Fuente: Autor.

**Tabla 18.** Resultados análisis falla circular talud izquierdo Slope/W.

Talud/condición	Parámetros de Resistencia	Factor de Seguridad	
		Estático	Dinámico
Talud central (perfil 2) / antes del deslizamiento del año 2013	Datos corte Directo: $\phi=23.17^\circ$ $c=26.6$ kPa	1.835	1.531
	Datos RocLab: $\phi=11.85^\circ$ $c=6$ kPa	0.559	0.458
	Datos Retro cálculo: $\phi=18^\circ$ $c=18.3$ kPa	1.167	0.968
Talud central (perfil 2) / condición actual	Datos corte Directo: $\phi=23.17^\circ$ $c=26.6$ kPa	1.399	1.130
	Datos RocLab:	0.589	0.466

Talud/condición	Parámetros de Resistencia	Factor de Seguridad	
		Estático	Dinámico
	$\phi=11.85^\circ$ c=6 kPa		
	Datos Retro Cálculo $\phi=18^\circ$ c=18.3 kPa	1.209	0.960

Fuente: Autor.

## 5 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LOS FACTORES DE VALUACIÓN PARA ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD

Una vez realizados los estudios topográficos, geológico-geotécnicos, hidrogeológicos, de mecánica de suelos y el análisis de estabilidad se procedió a implementar el método de las factores de valuación (la metodología se presenta en forma detallada en el Anexo A) para el sector de estudio de la ladera sur del barrio San Fermín – Ocaña, N.S.

### 5.1 FACTORES PARA EVALUAR LAS CARACTERÍSTICAS INTRINSECAS DE LA LADERA

Se evalúan los factores de morfología y topografía, geología, mecánica de suelos, hidrogeología y vegetación.

#### 5.1.1 Morfología y topografía.

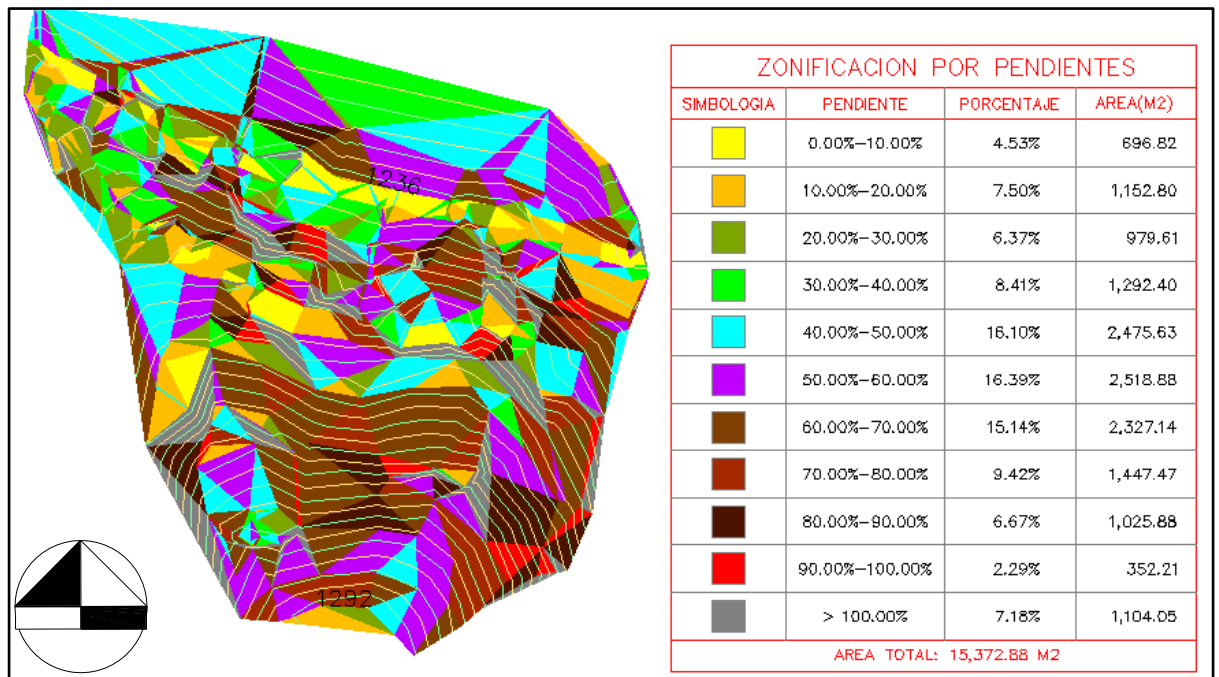
En la Tabla 19 se presentan los cálculos para este factor de valuación. La inclinación máxima para el sector de estudio de la ladera, se estimó en un rango entre 60% y 80% que corresponde a un ángulo entre 30° y 40°.

**Tabla 19.** Factores de Valuación morfo-topográficos.

Características intrínsecas de la ladera		Factor de valuación	Valor medio	Intervalo de influencia
Morfología y topografía	Altura ladera sector de estudio H= 56 m (Figura 24)	$f_{m\bar{t}} = \text{sen}\beta$	<b>0.64</b>	<b>Medio</b>
	Inclinación máx. $\beta = 40^\circ$ (Figura 80) <b><u>Montañoso.</u></b> (Anexo A: Tabla 2)	$f_{m\bar{t}} = \text{sen}(40^\circ) = 0.643$		

Fuente: Autor.

**Figura 80.** Distribución de pendientes en el sector de estudio de la ladera.



Fuente: Autor.

### 5.1.2 Geología.

Se evaluaron los factores asociados a la presencia de pliegues, a la fracturación de la roca (estado del macizo rocoso), el grado de meteorización tanto químico como físico<sup>10</sup> y el correspondiente a las propiedades físicas y mecánicas de la roca presente en el sector de estudio. En las Tablas 20 y 21 se evalúan los diferentes factores asociados a la geología.

**Tabla 20.** Factores de valuación geológicos (a)

Características intrínsecas de la ladera		Factor de valuación	Valor medio	Intervalo de influencia
<b>Roca:</b> ígnea plutónica, holocristalina félsica y de textura fanerítica (granito, cuarzomonzonita y granodiorita.	Pliegues inclinados hacia la ladera: <b>No hay</b> . (Observación de afloramientos en el sector de estudio).	-----	<b>0.92</b>	<i>Alto</i>
	Fracturación: Se tiene un RQD=10.25%<25% (Anexo C). <b>Red densa, fractura junta</b> . (Anexo A: Tabla 3)	$f_g = 1.0$		
	Química: <b>Intensa</b> (Observación de campo)	$f_g = 1.0$ (Anexo A: Tabla 3)		
	Física: <b>Moderada</b> (Observación de campo)	$f_g = 0.75$ (Anexo A: Tabla 3)		

Fuente: Autor.

<sup>10</sup> El grado de alteración de la roca y sus minerales, hacen variar las propiedades geotécnicas dando lugar a comportamientos mixtos entre suelo y roca, y la modificación de las propiedades físicas y mecánicas [10].

**Tabla 21.** Factores de valuación geológicos (b).

Características intrínsecas de la ladera		Factor de valuación	Valor medio	Intervalo de influencia	
Geología	Propiedades	<b>Físicas:</b> Peso volumétrico = $\gamma = 2.05 \text{ t/m}^3 = Ds$ (Tabla 9 y Anexo F) $De=2.5 \text{ t/m}^3$ (Tabla 10 y Anexo F)	$f_g = 1 - (Ds/De)$ $f_g = 1 - (2.05/2.5)=0.18$ (Anexo A: Tabla 3)	<b>0.589</b>	<i>Medio</i>
		<b>Mecánicas:</b> Resistencia a la compresión simple $qu=0.85 \text{ kg/cm}^2 = Ds$ (Tabla 9 y Anexo F). $De=319 \text{ kg/cm}^2$ (mayor valor numeral 4.5.1.5 y 4.5.2.3 - Anexo F)	$f_g = 1 - (Ds/De)$ $f_g = 1 - (0.85/319)=0.997$ (Anexo A: Tabla 3)		
	<b>Roca:</b> ígnea plutónica, holocristalina félsica y de textura fanerítica.	<b>Valor medio Factor de Valuación Geológico=</b>		<b>0.755</b>	<b>Alto</b>

Fuente: Autor.

### 5.1.3 Mecánica de suelos.

Para este factor se encontró que la metodología de los factores de valuación (Ver Anexo A) contempla exclusivamente perfiles de suelos cohesivos o perfiles de suelos friccionantes. Dado que el perfil encontrado en la zona de estudio corresponde a un perfil de meteorización, descrito en el numeral 4.6.1, conformado por suelos residuales que varían desde arcillas arenosas y arenas arcillosas hasta arenas limosas, se tiene un perfil compuesto de suelos cohesivos y suelos friccionantes. *Debido a lo anterior se realizó el contacto con el autor de la*

metodología<sup>11</sup> vía correo electrónico y se le expuso la condición de perfil de suelos presentes en la zona de estudio, a lo cual el autor decidió hacer una modificación en la metodología para evaluar este factor. La modificación planteada para evaluar el factor de mecánica de suelos en perfiles de suelos residuales (con cohesión y fricción), utiliza el modelo de Taylor según las ecuaciones:

$$FS = \frac{H_c}{H}$$

Donde:

**FS** = Factor de Seguridad

**H<sub>c</sub>** = Altura crítica

**H** = Altura del talud

$$H_c = N_s \frac{c}{\gamma}$$

Donde:

**N<sub>s</sub>** = Número de estabilidad (en función del ángulo  $\phi$  y de la inclinación del talud  $\beta$ )

**c** = cohesión del suelo

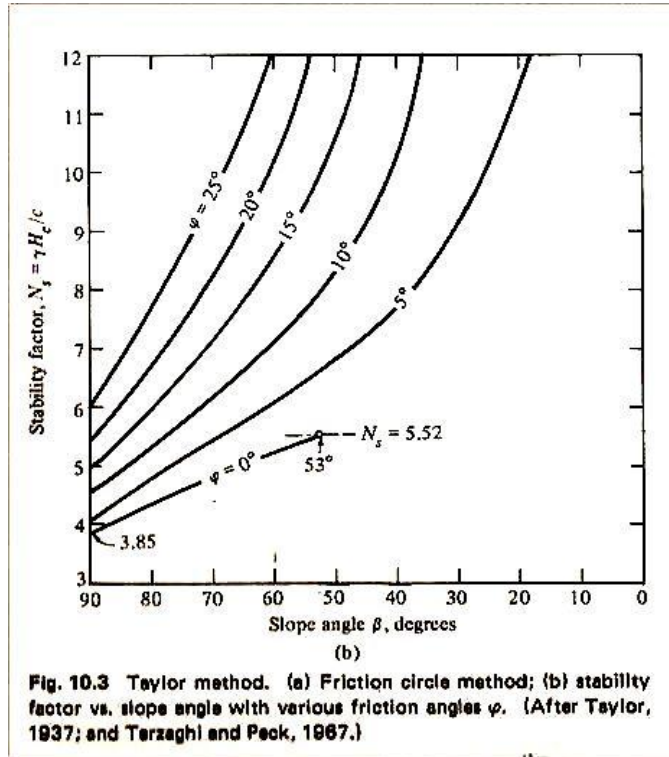
$\gamma$  = peso volumétrico natural del suelo

Se determina el número de estabilidad **N<sub>s</sub>** con la Figura 81 y el  $f_{ms}$  con la Figura 82.

---

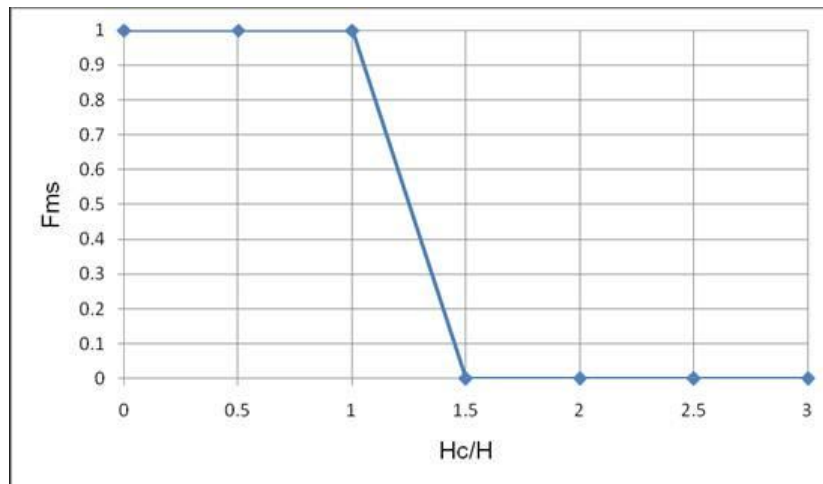
<sup>11</sup> Doctor Oscar Andrés Cuanalo Campos, Docente Investigador de la Benemérita Universidad de Puebla – BUAP. Puebla, México.

**Figura 81.** Cálculo del Número de estabilidad  $N_c$ , método de Taylor.



Fuente: [22]

**Figura 82.** Gráfica modificada factor de valuación por mecánica de suelos (suelos con cohesión y fricción).



Fuente: Cuanalo, O. (2013).

En el caso de estudio para la condición actual las superficies de falla se dan en los estratos de suelos residuales arcillo arenosos y areno arcillosos. Se toma el menor valor de cohesión y fricción para estos estratos: Cohesión =  $c = 17.6$  kPa y  $\phi = 21.77^\circ$ . En la Tabla 22 se muestra el cálculo del factor de Valuación por mecánica de suelos.

**Tabla 22.** Factor de valuación por mecánica de suelos (modificado).

Características intrínsecas de la ladera		Factor de valuación	Valor medio	Intervalo de influencia
Mecánica de Suelos Arcilla arenosa CL y arena arcillosa SC	Suelo con Fricción y Cohesión Inclinación máxima de la ladera $\beta = 40^\circ$ (Figura 80) Ángulo de fricción = $\phi = 21.77^\circ$ Cohesión = $c = 17.6$ kPa. Peso unitario $\gamma_m = 1.92$ t/m <sup>3</sup> (Tablas 9 y 10 y Anexo F)	$N_s = 18.08$ (de la Figura 79) $H_c = N_s * c / \gamma = 18.08 * (1.76 / 1.92) = 16.57$ m $H_c / H = 16.57 \text{ m} / 56 \text{ m} = 0.02$ $f_{ms} = 1.0$ (Figura 80)	<b>1.0</b>	<b>Alto</b>

Fuente: Autor.

#### 5.1.4 Condiciones hidrogeológicas.

Para este factor se evalúa el efecto del grado de saturación del suelo ( $G_w$ ), el ángulo de inclinación máximo de la ladera ( $\beta$ ) y el espesor del estrato de suelo ( $e$ ). En la Tabla 23 se encuentra el cálculo de este factor.

**Tabla 23.** Factor de valuación por condiciones hidrogeológicas.

Características intrínsecas de la ladera		Factor de valuación	Valor medio	Intervalo de influencia
Hidrogeología	Inclinación máxima de la ladera $\beta=40^\circ$ (Figura 80) Grado de saturación del suelo $G_w=55.80\%$ (Calculado con datos de las Tablas 8, 10 y Anexo F, ver Tabla 24)	$f_h = G_w \cdot \text{sen}(\beta)$ $f_h = 0.558 \cdot \text{sen}(40^\circ)$ $f_h = 0.359$	<b>0.355</b>	<b>Bajo</b>
	Espesor del suelo $e=7.0$ m (Ver Figura 51, Figura 52, Figura 53, Figura 54 y Figura 55)	$f_h = 0.05 \cdot e$ $f_h = 0.05 \cdot 7 = 0.35$		

Fuente: Autor.

**Tabla 24.** Cálculo de Grado de Saturación ( $G_w$ ).

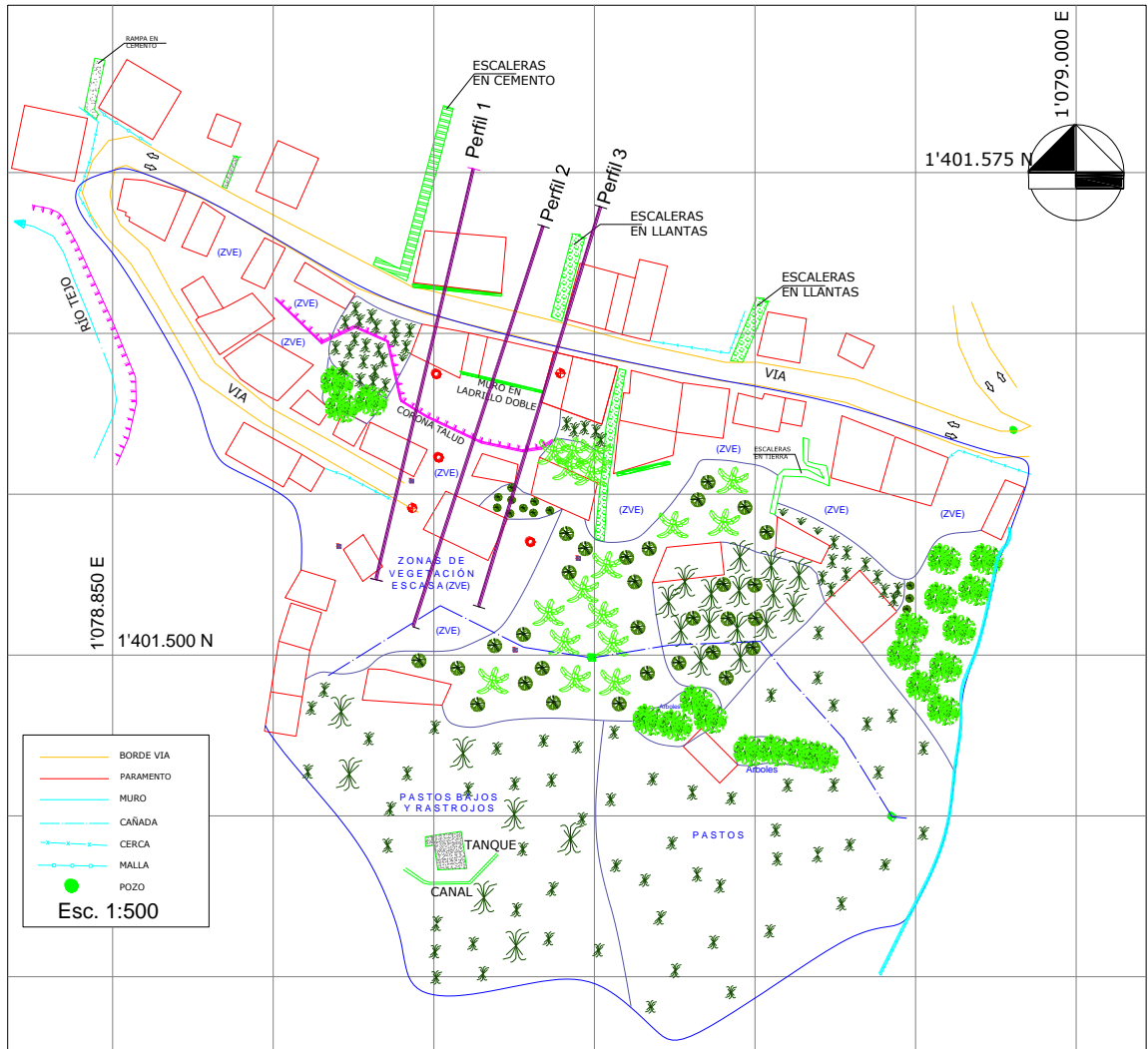
Sondeo	Prof. (m)	Clasificación SUCS	%w	Peso Unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	Gravedad Específica	$G_w$ (%)
#1 (parte baja)	1	SM	11.93	1.87	2.69	52.60
	2	SM	14.16	1.96	2.69	67.20
	3	SM	14.01	2.05	2.69	75.98
#4 (parte alta)	3	SC	16.11	1.92	2.80	65.07
	4	SC	10.05	1.92	2.80	46.52

Fuente: Autor.

### 5.1.5 Vegetación.

Para evaluar este factor se realizó un levantamiento de las áreas con vegetación en la zona de estudio, ver Figura 83 y Tabla 25. En la Tabla 26 se detalla el cálculo de este factor.

**Figura 83.** Tipos de cobertura vegetal en la zona de estudio.



Fuente: Autor.

**Tabla 25.** Cobertura vegetal en la zona de estudio.

Tipo de Vegetación	Áreas	%
Pastos bajos	2272.80	21.09
Hierba.	1726.23	16.02
Arbustos	529.99	4.92
Pastos Altos y Maleza Arborea	405.44	3.76

Tipo de Vegetación	Áreas	%
Árboles frutales, Arbustos.	1021.04	9.47
Plátano	48.13	0.45
Malezas	30.74	0.29
Zonas de Escasa Vegetación	3112.19	28.88
Área Viviendas	1629.87	15.12
Área Total sector ladera en estudio	10776.43	
Área cubierta por la vegetación	6034.37	56.00
% de área cubierta vegetación	56.00	21.09

Fuente: Autor.

**Tabla 26.** Factor de valuación por vegetación.

Características intrínsecas de la ladera		Factor de valuación	Valor medio	Intervalo de influencia
Vegetación	Tipo: <b>Hierba, maleza arbórea, pastos</b>	$f_V = 0.66$ (Anexo A: Tabla 5)	<b>0.72</b>	<b>Medio</b>
	Densidad de Follaje: <b>poco</b>	$f_V = 0.7$ (Anexo A: Tabla 5)		
	Área cubierta: <b>56%</b> (Figura 83 y Tabla 25).	$f_V = 0.5$ (Anexo A: Tabla 5)		
	Profundidad de raíz: <b>Somera</b> . El 83% de la vegetación presente corresponde a pastos, malezas, rastrojos. (Figura 83 y Tabla 25).	$f_V = 1.0$ (Anexo A: Tabla 5)		

Fuente: Autor.

## 5.2 FACTORES PARA EVALUAR CONDICIONES REGIONALES

Se analizaron los factores asociados a lluvia, sismicidad, erosión y socavación y actividad humana.

### 5.2.1 Lluvia.

Para evaluar este factor se tomaron en cuenta los datos de la estación del IDEAM ubicada en los predios de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña (ver Tabla 27), encontrándose que la temperatura media anual es de 22°C y la precipitación media anual es de 1055.9 mm/año [24]. En la Tabla 28 se detalla el cálculo de este factor.

**Tabla 27.** Datos estación IDEM en UFPS Ocaña.

Código	Estación	Tipo	Coordenadas		Elevación
220	UNIV FCO PSANTAND (16055100)	Climatológica ordinaria.	Lat: 8.0°14.0' N	Long: 73.0°19.0'W	1150.0 msnm

Fuente: [23]

**Tabla 28.** Factor de valuación por climatología.

Condiciones regionales del sitio		Factor de valuación	Valor medio	Intervalo de influencia
Climatología	Temperatura media anual = Precipitación media anual <b>P = 1056 mm.</b> Está en el rango entre 800 – 1500 mm con una clasificación de nivel de precipitación medio (Ver Anexo A: Tabla 6)	$f_{II} = 2.2 \times 10^{-4} \cdot P$ $f_{II} = 2.2 \times 10^{-4} \cdot 1056 = 0.232$	<b>0.232</b>	<b>Bajo</b>

Fuente: Autor.

### 5.2.2 Sismicidad.

Para este factor la metodología tenía una tabla adaptada para la República Mexicana, para el caso de estudio la tabla se adecuó a la información para la República de Colombia (Ver Tabla 29) de acuerdo al Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia 2009 [25], en el cual para Ocaña corresponde un  $Aa^{12}$  de 0.2. En la Tabla 30 se calcula este factor.

**Tabla 29.** Factores de valuación por sismicidad.

Zona sísmica (Región)	Coefficiente sísmico (Aa)	Factor de Valuación $f_s = 1.1628 Aa$
1	0.05	0.06
2	0.10	0.12
3	0.15	0.17
4	0.20	0.23
5	0.25	0.29
6	0.30	0.35

<sup>12</sup> Aa = coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva, para diseño.

Zona sísmica (Región)	Coefficiente sísmico (Aa)	Factor de Valuación $f_s=1.1628Aa$
7	0.35	0.41
8	0.40	0.47
9	0.45	0.52
10	0.50	0.58

Fuente: Adaptado de [10] [25].

**Tabla 30.** Cálculo de Factor de valuación por sismicidad.

Condiciones regionales del sitio		Factor de valuación	Valor medio	Intervalo de influencia
Sismicidad	Ocaña se encuentra en la Región 4 de amenaza sísmica para la cual Aa = 0.2 (Tabla 29).	$f_s = 1.1628 \cdot Aa$ $f_s = 1.1628 \cdot 0.2 = 0.233$	<b>0.233</b>	<b>Bajo</b>

Fuente: Autor.

### 5.2.3 Erosión y socavación.

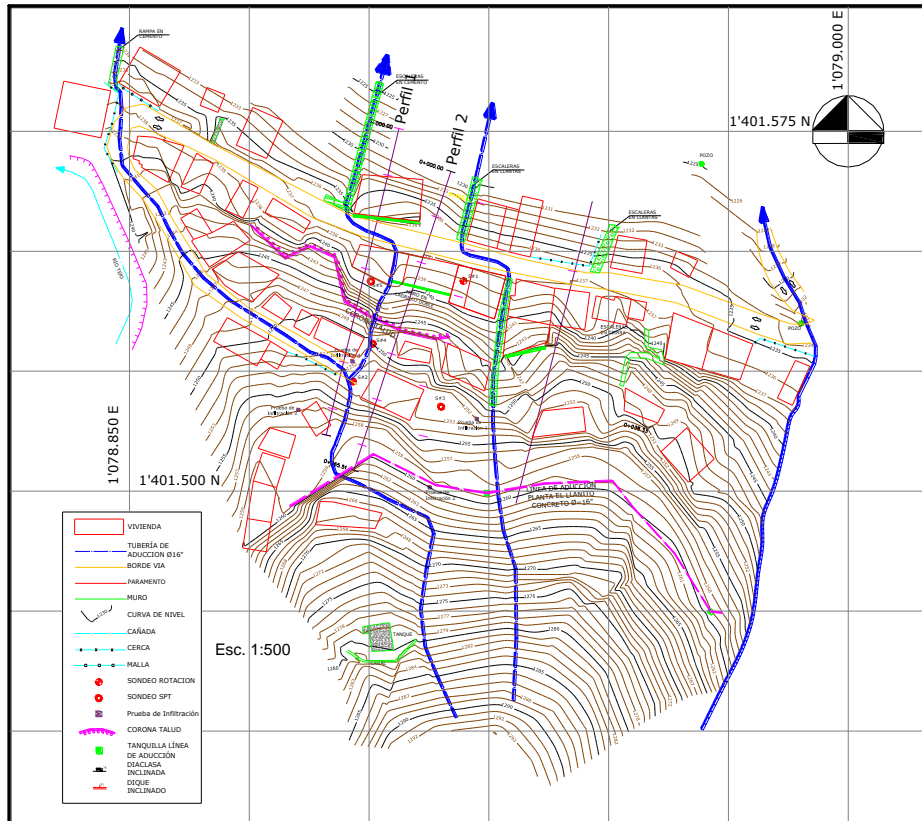
Como se describió en el numeral 4.4.3.2 en el sector de estudio se presentan procesos de erosión hídrica de tipo laminar, concentrada en surcos y en cárcavas. En época de invierno se observó la formación de varios drenajes por la concentración de las aguas de escorrentía, de estos uno está afectando directamente el sector de los taludes 1 y 2 (ver Figura 84). En la Tabla 31 se muestra el cálculo de estos factores.

**Tabla 31.** Factores de valuación por erosión y socavación.

Condiciones regionales del sitio		Factor de valuación	Valor medio	Intervalo de influencia
Erosión y socavación	<b>Características de la cuenca:</b> Se evalúa para el sector de la ladera en estudio. <i>Largo = 101.40 m</i> <i>Ancho = 129.11 m</i> (Figura 84)	$L/A = 101.40 / 129.11$ $L/A = 0.79$ $f_{es} = 0.06$ (Anexo A: Figura 4)	<b>No se considerará su efecto.</b>	
	<b>Densidad de drenaje:</b> Longitud de drenajes = 0.53 km (Figura 84) Área total zona de drenaje = 0.011 km <sup>2</sup> (Figura 84)	$Densidad\ de\ drenaje = Dd$ $Dd = 0.53 / 0.011 = 49.18$ $km / km^2$ $f_{es} = 0.5$ (Anexo A: Figura 4)		
	<b>Infiltración del terreno:</b> $I_f = 8.73$ mm/hora (Valor medio de las pruebas de infiltración – numeral 4.5.1.4 y anexo D).	$f_{es} = 0.7$ (Anexo A: Figura 4)		

Fuente: Autor.

**Figura 84.** Concentración de drenajes en la zona de estudio.



Fuente: Autor.

## 5.2.4 Actividad Humana.

“Cambiar la conformación de una montaña puede significar inestabilizarla ya que su forma es el resultado de un largo proceso de equilibrio de cargas y fuerzas que lenta o rápidamente busquen reacomodarse [26].” En la Tabla 32 se realizan los cálculos de este factor.

Para las sobrecargas de las viviendas se estimó una presión sobre el terreno de entre 6 y 8 kN/m<sup>2</sup> para las viviendas de 1 piso, que son la mayoría en el sector de estudio.

**Tabla 32.** Factor de valuación por actividad humana.

Condiciones regionales del sitio		Factor de valuación	Valor medio	Intervalo de influencia
Actividad humana	<b>Cortes no estabilizados:</b> si hay.	$f_{ah} = 1.0$ (Anexo A: Tabla 8)	<b>0.753</b>	<b>Alto</b>
	<b>Densidad de población<sup>13</sup>:</b> 200 hab/km <sup>2</sup> , casas de 1 y 2 niveles.	$f_{ah} = 0.26$ (Anexo A: Figura 5)		
	<b>Deforestación:</b> Solo el 9.5% del área de estudio conserva sus árboles nativos. <b>Total.</b> (Anexo A: Tabla 8)	$f_{ah} = 1.0$ (Anexo A: Tabla 8)		

Fuente: Autor.

**Tabla 33.** Cálculo de sobrecargas.

Casa	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	ML muro (e=0.12 m)	M <sup>2</sup> Techo	M <sup>2</sup> Piso	
Casa 1	12.44	4.66	2.6	43.02	61.70	55.70	
Casa 2	11.21	6.91	2.6	48.33	80.82	76.02	
Casa 3	6.27	3.39	2.6	19.45	23.14	21.26	
Casa 4	13.18	6.32	2.6	63.81	87.25	83.42	
Casa	Carga kN/ML de muro	Carga kN (muros)	Carga kN (Techos)	Carga kN (pisos)	Carga kN Total	Carga kN/m <sup>2</sup> Total	Carga kN/ML Total
Casa 1	6.5	279.63	12.34048	55.7	347.67	6.24	77.65
Casa 2	6.5	314.145	16.16	76.02	406.33	5.35	59.92
Casa 3	6.5	126.425	4.63	21.26	152.31	7.16	44.92
Casa 4	6.5	414.765	17.45	83.42	515.64	6.18	81.47

Fuente: Autor.

<sup>13</sup> Plan Básico de Ordenamiento Territorial – PBOT de Ocaña, 2002.

### 5.3 FACTORES PARA EVALUAR EL CÁLCULO DE LA ESTABILIDAD

Se calcularon los factores asociados a la profundidad de la superficie de rotura y el respectivo factor de seguridad. Se utilizó para ello el análisis detallado de estabilidad realizado para los taludes críticos (perfiles 1 y 2) del sector de estudio, ver numeral 4.7. En la Tabla 34 se resumen los cálculos realizados.

**Tabla 34.** Factor de valuación por análisis de estabilidad.

Datos de estabilidad		Factor de valuación	Valor medio	Intervalo de influencia
Superficie de rotura	<p><b>Profundidad de superficie de rotura:</b></p> <p>Para la falla del año 2013 del talud central fue de 3.5 m y para una posible falla en la condición actual sería de 2.5 m.</p> <p>Para la falla del año 2012 del talud izquierdo fue de 3.0 m y para una posible falla en la condición actual sería de 3.0 m.</p> <p>Ver resultados numeral 4.7 y Anexo H.</p> <p><b>Somera.</b> (Anexo A: Tabla 9)</p>	$f_e = 0.5$ (Anexo A: Tabla 9)	<b>0.5</b>	<b>Medio</b>

Fuente: Autor

Continuación Tabla 34.

Datos de estabilidad		Factor de valuación	Valor medio	Intervalo de influencia
Factor de seguridad	<p><b>Factor de seguridad:</b> (numeral 4.7).</p> <p>Para la falla del talud central en 2013 el análisis de estabilidad estableció que el FS en condición dinámica era de 0.852 y que para la condición actual es de 1.179.</p> <p>Para la falla del talud izquierdo en 2012 el análisis de estabilidad estableció que el FS en condición dinámica era de 0.968 y que para la condición actual es de 1.026.</p> <p>De acuerdo a lo anterior y al Anexo A: Tabla 9, para el estado antes de la falla los taludes tenían la condición de <b><i>Inestables</i></b>, y para la condición actual se encuentran en <b><i>Estabilidad crítica</i></b>.</p>	<p><math>f_e = 1.0</math> (condición antes de la falla). (Anexo A: Tabla 9)</p> <p><math>f_e = 0.75</math> (condición actual). (Anexo A: Tabla 9)</p>	<b>0.875</b>	<b>Alto</b>

Fuente: Autor.

#### 5.4 RESUMEN DE FACTORES DE VALUACIÓN Y NIVEL DE INFLUENCIA

En la Tabla 35 se muestran todos los factores calculados y el respectivo nivel de influencia que estos tienen en las condiciones de estabilidad o inestabilidad del sector en estudio de la ladera sur del barrio San Fermín de Ocaña, N.S.

**Tabla 35.** Resumen de factores de valuación.

Factor de Valuación		Factor medio de valuación	Rango de influencia
CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE LA LADERA	Morfología y topografía	0.640	<b>Medio:</b> Requiere atención.
	Geología	0.755	<b>Alto:</b> Atención urgente.
	Mecánica de suelos	1.00	<b>Alto:</b> Atención urgente.
	Hidrogeología	0.355	<b>Bajo:</b> Sin problema.
	Vegetación	0.720	<b>Medio:</b> Requiere atención.
CARACTERÍSTICAS DEL SITIO	Lluvia	0.232	<b>Bajo:</b> Sin problema.
	Sismicidad	0.233	<b>Bajo:</b> Sin problema.
	Erosión y socavación	0.60	<b>Medio:</b> Requiere atención.
	Actividad humana	0.753	<b>Alto:</b> Atención urgente.
DATOS DE ESTABILIDAD	Superficie de rotura	0.500	<b>Medio:</b> Requiere atención.
	Factor de seguridad	0.875	<b>Alto:</b> Atención urgente.

Fuente: Autor.

## 6 MITIGACIÓN

“Los desastres son la manifestación de un proceso continuo de construcción de condiciones de riesgo. Se expresan en pérdidas y daños que ocasionan un impacto social, económico y ambiental determinado por las condiciones preexistentes de debilidad social del área afectada.” [27]

La mitigación hace parte de la gestión del riesgo, permitiendo intervenir en uno de los tres procesos que la componen, como lo es la reducción del riesgo (ver Figura 85). “Se considera como gestión del riesgo al conocimiento e intervención de sus componentes, para la prevención de desastres” [28], y de acuerdo a la Ley 1523 de 2012 es un “proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe”

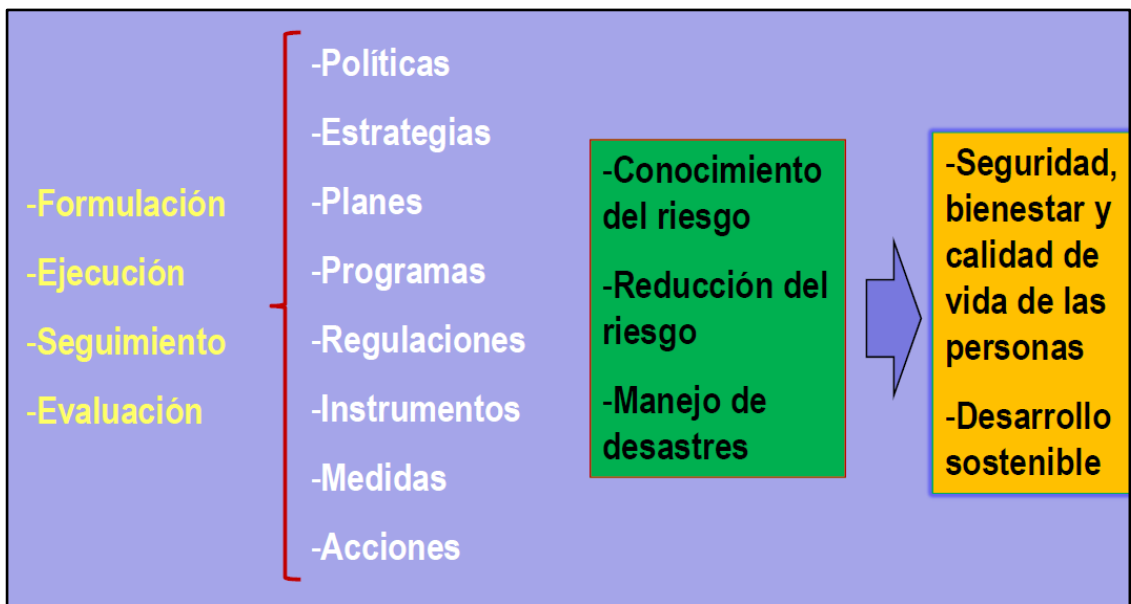
Como lo dice la Ley 1523 de 2012 la reducción del riesgo involucra la intervención dirigida a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existente y la prevención del riesgo, de este modo la reducción la componen la intervención correctiva del riesgo existente, la intervención prospectiva de nuevo riesgo y la protección financiera [27].

La intervención correctiva del riesgo existente requiere de la implementación de obras de construcción, pero se debe tener muy claro que la implementación de las medidas de reducción del riesgo (mitigación) no pueden hacerse en el corto plazo, ya que se requiere de inversiones considerables. Es por ello que se requiere sensibilizar y preparar a las comunidades para que puedan tener capacidad de

respuesta para afrontar el riesgo que se mantiene mientras se desarrollan las obras de mitigación [27].

Para el caso de estudio del barrio San Fermín de Ocaña, N.S., el objetivo es plantear las obras que permitan reducir el nivel de riesgo a que están expuestos los habitantes y la infraestructura de este sector de la ciudad, haciendo que los niveles de amenaza existente por fenómenos de remoción en masa, se puedan disminuir. Por lo anterior se realizó el análisis cualitativo por el método de los factores de valuación para un sector crítico de la ladera sur de este barrio. En esta etapa se utilizaron los rangos de influencia determinados para los diferentes factores (condicionantes y desencadenantes) para establecer los procesos constructivos que permitan mitigar el efecto de cada uno de ellos en las condiciones de estabilidad del sector de ladera en estudio. Posteriormente se analizaron las condiciones de estabilidad de los taludes críticos con la inclusión de las obras que el software Slope/w permitió incluir en el modelamiento.

**Figura 85.** Componentes y procesos de la gestión del riesgo de desastres.



Fuente: [29]

## **6.1 SELECCIÓN DE OBRAS DE MITIGACIÓN DE ACUERDO A RANGO DE INFLUENCIA DE LOS FACTORES DE VALUACIÓN.**

Una vez se determinó el rango de influencia de cada factor de valuación en las condiciones de estabilidad del sector en estudio (Bajo, Medio y Alto) (Ver Tabla 35) y tomando como base la matriz de correlación de procesos constructivos (Ver anexo A: Tabla 11 y Tabla 12), se definieron las obras de mitigación más adecuadas, esta información se presenta en la Tabla 36.

## **6.2 DESCRIPCION DE OBRAS DE MITIGACIÓN PORPUESTAS Y VERIFICACIÓN DE CONDICIONES DE ESTABILIDAD.**

Teniendo en cuenta los procesos constructivos propuestos en la Tabla 36 para mitigar el efecto de los diferentes factores de valuación, se procedió a establecer los detalles característicos de cada obra a implementar. En la Figura 86 se muestran las obras propuestas.

### **6.2.1 Conformación de la superficie del talud.**

Como primera medida se recomienda la remoción de los materiales de los deslizamientos anteriores, el bloque deslizado en el talud central y el material que esta al pie en el talud izquierdo.

Se recomienda la conformación de la superficie de los taludes de la siguiente manera:

- Talud Central (perfil 2): Conformar el talud con una inclinación de  $90^\circ$  en la zona del escarpe, para una altura de 3.0 m, y conformar la superficie bajo el bloque deslizado con una pendiente 1H : 3/4V ( $36^\circ$ ).
- Talud izquierdo (perfil 1): Conformar el talud para una altura de 8.0 m con una pendiente 1H : 3V ( $71^\circ$ ).

**Tabla 36.** Factores de valuación y procesos constructivos a utilizar.

Factor de Valuación		Rango de influencia	Proceso constructivo (Anexo A: Tabla 11)	Obra de mitigación propuesta
CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE LA LADERA	Morfología y topografía	<b>Medio:</b> Requiere atención.	- Rectificación geométrica.	- Remoción de cuña deslizada en el talud central y conformación de la superficie de la cresta para colocación de elementos de refuerzo. - Remoción de materiales de deslizamiento en la pata del talud izquierdo y conformación de la superficie del mismo para colocar elementos de refuerzo.
	Geología	<b>Alto:</b> Atención urgente.	- Elementos de refuerzo.	- Colocación de elementos de anclaje.
	Mecánica de suelos	<b>Alto:</b> Atención urgente.	- Elementos de drenaje. - Elementos de refuerzo. - Protección superficial.	- Zanjas de drenaje. - Colocación de elementos de anclaje (pantallas ancladas o claveteadas). - Vegetación.

Fuente: Adaptado de Anexo A: Tabla 11.

Continuación Tabla 36.

Factor de Valuación		Rango de influencia	Proceso constructivo (Anexo A: Tabla 11)	Obra de mitigación propuesta
CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE LA LADERA	Hidrogeología	<b>Bajo:</b> Sin problema.	- Elementos de drenaje. Aun cuando la evaluación da un nivel de influencia bajo, se proyectan obras debido a que la metodología no tiene en cuenta el efecto por presencia de filtraciones de la tubería de aducción en la parte alta del sector de estudio.	- Zanjas de drenaje. - Subdrenes de penetración.
	Vegetación	<b>Medio:</b> Requiere atención.	- Protección superficial.	- Vegetación.

Fuente: Adaptado de Anexo A: Tabla 11.

Continuación Tabla 36.

Factor de Valuación		Rango de influencia	Proceso constructivo (Anexo A: Tabla 11)	Obra de mitigación propuesta
CARACTERÍSTICAS DEL SITIO	Lluvia	<b>Bajo:</b> Sin problema.	-----	
	Sismicidad	<b>Bajo:</b> Sin problema.	-----	
	Erosión y socavación	<b>Medio:</b> Requiere atención.	- Elementos de drenaje. - Protección superficial.	- Zanjas de drenaje. - Estructuras para entrega de aguas y disipación de energía. - Vegetación.
	Actividad humana	<b>Alto:</b> Atención urgente.	- Elementos de refuerzo. - Muros de contención. - Protección superficial.	- Colocación de elementos de anclaje (pantallas ancladas o claveteadas). - Muro de Gravedad, cantiléver o muros de mampostería reforzada. - Vegetación.

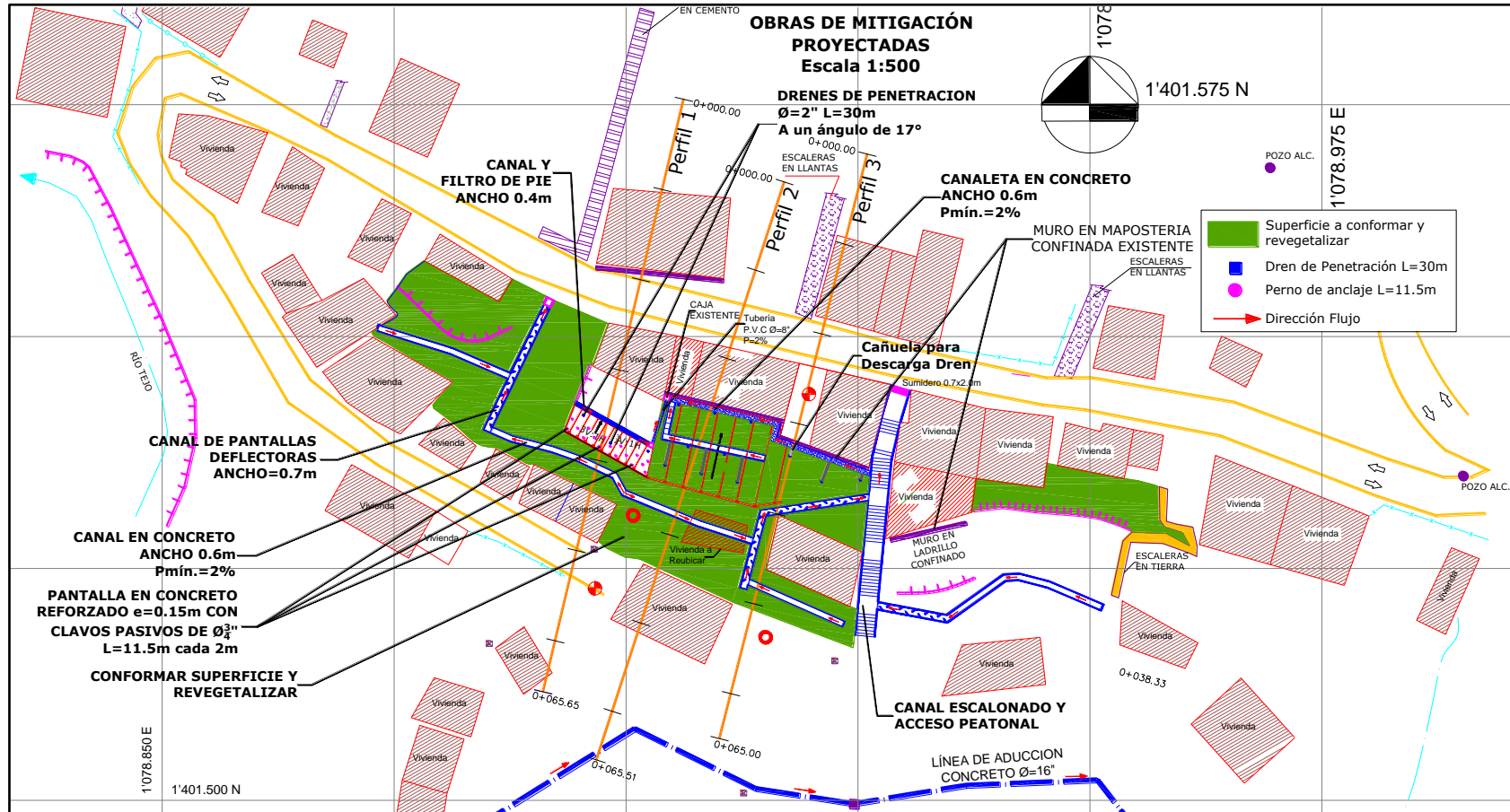
Fuente: Adaptado de Anexo A: Tabla 11.

Continuación Tabla 36.

Factor de Valuación		Rango de influencia	Proceso constructivo (Anexo A: Tabla 11)	Obra de mitigación propuesta
DATOS DE ESTABILIDAD	Superficie de rotura	<b>Medio:</b> Requiere atención.	- Rectificación geométrica. - Elementos de refuerzo.	- Remoción de materiales de anteriores deslizamientos y conformación de la superficie actual del talud. - Colocación de elementos de anclaje (pantallas ancladas o claveteadas).
	Factor de seguridad	<b>Alto:</b> Atención urgente.	- Rectificación geométrica. - Elementos de refuerzo.	- Remoción de materiales de anteriores deslizamientos y conformación de la superficie actual del talud. - Colocación de elementos de anclaje (pantallas ancladas o claveteadas).

Fuente: Adaptado de Anexo A: Tabla 11.

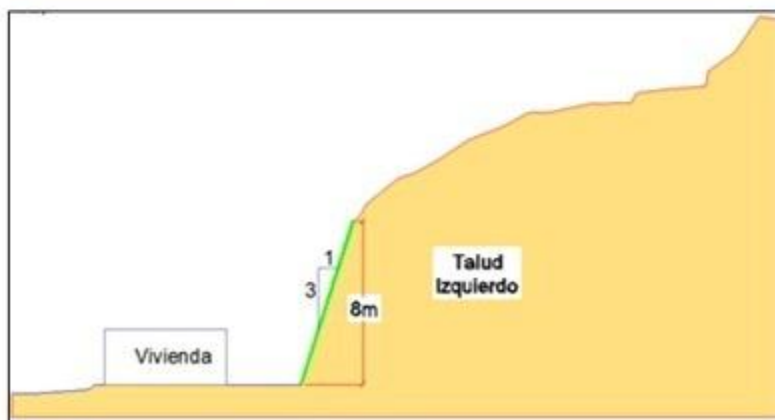
Figura 86. Planta con las obras de mitigación propuestas.



Fuente: Autor.

Además se planteó la conformación de otras áreas las cuales se muestran en color verde en la Figura 86. En la Figura 87 se muestra la conformación de los taludes.

**Figura 87.** Conformación de la superficie de los taludes (Sin escala).



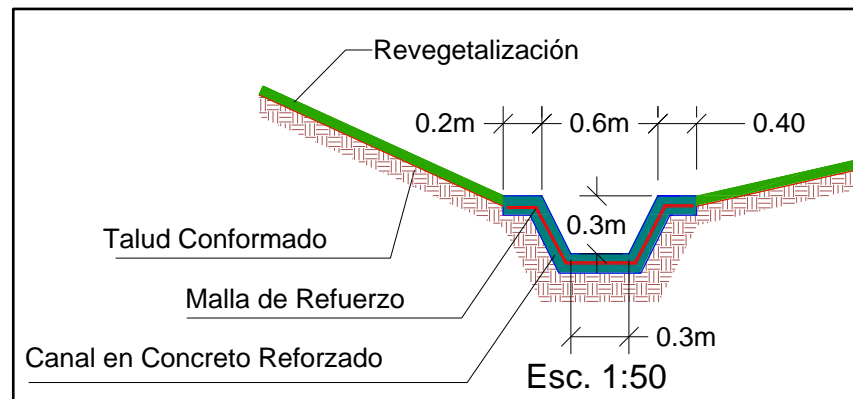
Fuente: Autor.

## 6.2.2 Elementos de drenaje.

Como se puede observar en la Figura 86, se plantearon canales transversales en concreto reforzado, una canaleta en concreto (al pie del talud central), canales disipadores con escalones (torrentera) y de pantallas deflectoras (CPD), cañuelas en concreto para descarga de los drenes de penetración, drenes de penetración, dren de p e (para el talud izquierdo) y se planteó una escalinata con doble función: gradería peatonal y disipador (en remplazo de la gradería en llantas).

- **Canales transversales:** Se plantearon para el manejo de las aguas de escorren a. Las especificaciones de diseño fueron: Precipitación máxima: 100 mm/hr, un área de captación de 1Ha y un gasto de diseño de  $0.28\text{m}^3/\text{s}$ . Su ubicación se detalla en la Figura 86 y su sección transversal se muestra en la Figura 88.

**Figura 88.** Canal transversal en concreto.



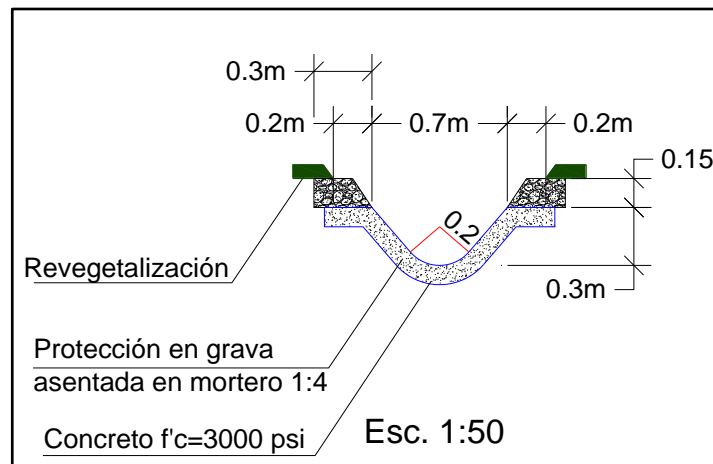
Fuente: Autor.

**Canaleta en concreto:** Se proyectó para el manejo de las aguas de escorren a provenientes del talud central. En la Figura 86 se aprecia su

al pie del talud central conformado y detrás del muro existente de confinada. En la

- Figura 89 se detallan sus dimensiones.

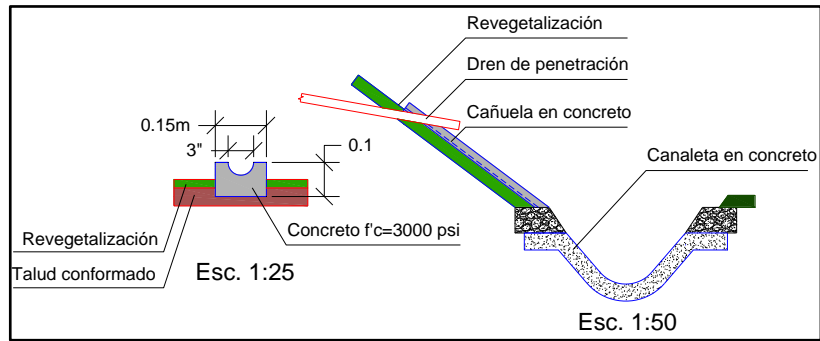
**Figura 89.** Canaleta en concreto.



Fuente: Autor

- **Cañuela en concreto:** Se proyectó para recibir la descarga de los drenes de penetración y llevarla a la canaleta en concreto. En la Figura 90 se detallan sus dimensiones.

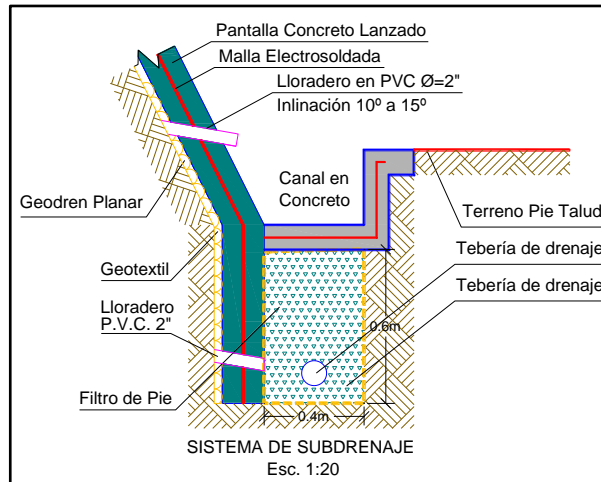
**Figura 90.** Cañuela para descarga dren de penetración.



Fuente: Autor.

- **Dren de pie.** Esta estructura se proyectó para recibir las aguas provenientes de los geodrenes planares que se deben ser instalados debajo de la pantalla en concreto lanzado del sistema de refuerzo con clavos. Adicionalmente este filtro permite el control del nivel freático que actualmente aparece al pie del talud. En la Figura 91 se muestra el detalle de esta estructura. Se proyectó una canal por encima del dren de pie para recoger las aguas captadas por los drenes de penetración y por los drenes cortos.

**Figura 91.** Dren de pie.



Fuente: Autor.

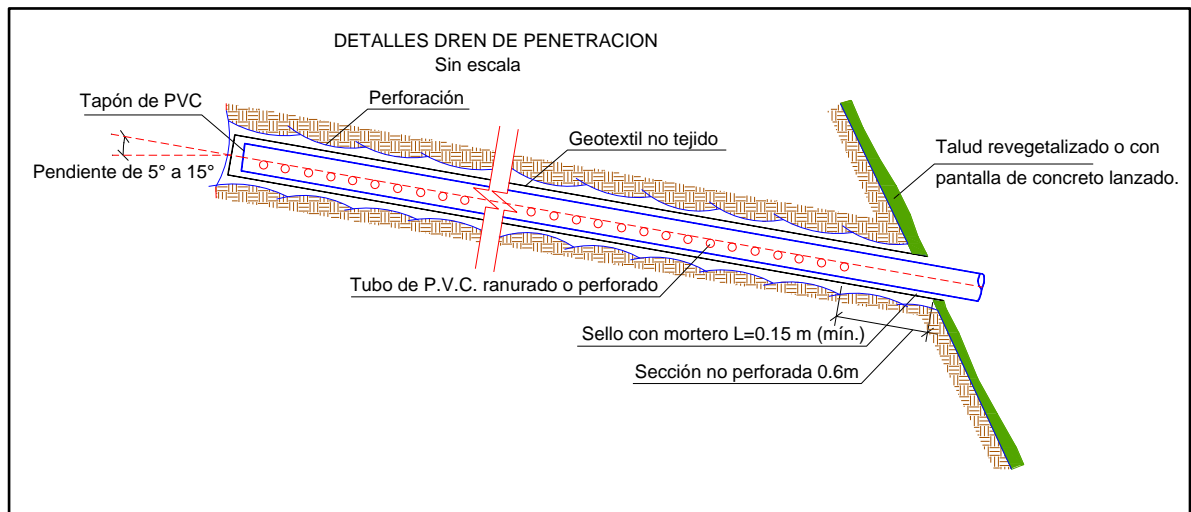
- **Drenes de penetración.** Este sistema de drenaje profundo se recomendó debido a la problemática actual por la filtración de agua desde la tubería de aducción de 16" en concreto de la planta de tratamiento El Llanito. El objetivo es abatir el nivel freático hasta una altura donde no resulte perjudicial para el sistema de refuerzo con clavos. Se proyectaron un total de 14 drenes de penetración de diámetro 2" en tubería P.V.C., ranurados o perforados recubiertos de geotextil no tejido NT 2500 o equivalente; espaciados cada 4 m en tres bolillos. En la Figura 86 se muestra la localización en planta. Las longitudes se detallan a continuación:  
*En sector talud izquierdo:* Se colocaran tres (3) drenes de penetración de longitud 20 m con una inclinación de 10° (ver Figura 98).

*En sector talud central:* Se colocaran ocho (8) drenes de penetración de longitud 18 m la fila superior, 20 m la fila intermedia y 22 m la fila inferior, todos con una inclinación de 10° (ver Figura 100).

*En sector talud derecho:* Se colocaran tres (3) drenes de penetración de longitud 30 m con una inclinación de 10° (ver Figura 86).

En la Figura 92 se muestran el detalle de estos drenes.

**Figura 92.** Detalle drenes de penetración.



Fuente: Adaptado de [16]

- **Estructuras de vertimiento.** Se proyectaron tres tipos de estructuras: canal escalonado, canal de pantallas deflectoras y una escalinata confinada entre muretes. Estas estructuras tienen a función de recibir las aguas de los canales transversales y las que lleguen en forma directa, y entregarlas a las cajas colectoras en la parte baja de los taludes.

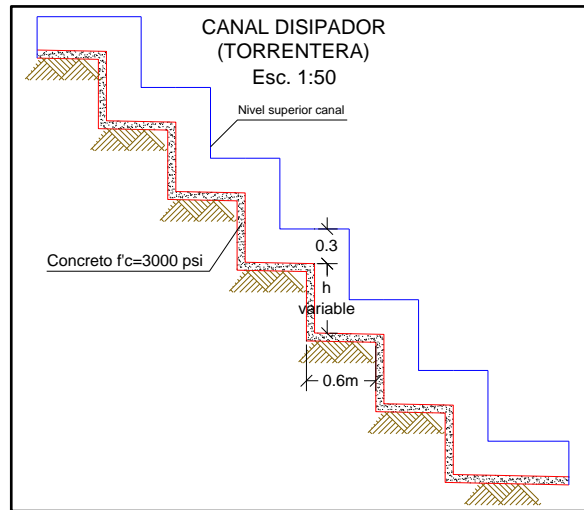
*Canal escalonado:* En la Figura 93 se muestra el detalle de este canal proyectado en el sector del talud central (ver Figura 86).

*Canal de pantallas deflectoras (CPD):* En la Figura 94 se muestra el detalle de este canal y su localización se aprecia en la Figura 86.

*Escalinata confinada entre muretes:* En la Figura 95 se muestra el detalle de esta estructura, la cual se proyectó para reemplazar una escalinata construida con llantas y que ha permitido un proceso de erosión de este sector de la ladera. La escalinata permite el tránsito peatonal y en épocas de lluvias recibirá las aguas directas que se generan en un drenaje formado por la configuración morfológica

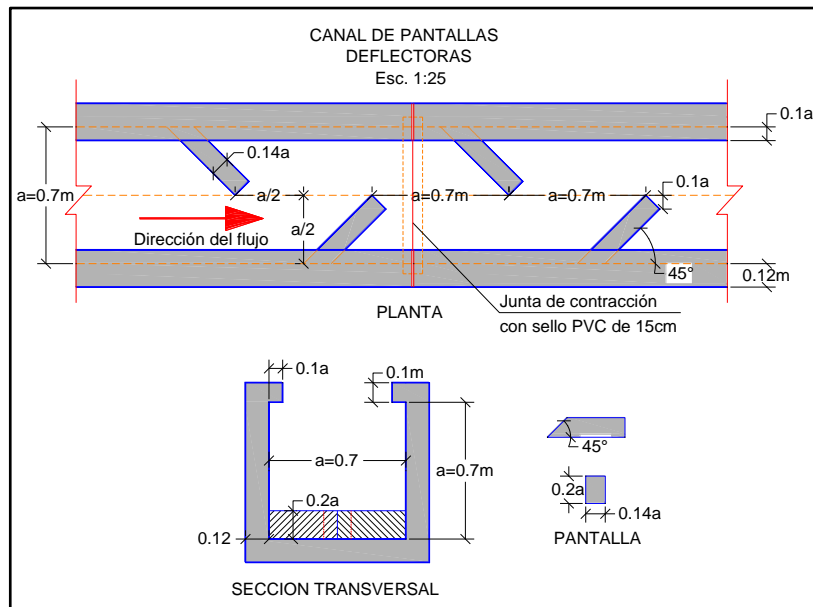
de la ladera y las aguas de escorrentía que se recojan en los diferentes canales transversales proyectados.

**Figura 93.** Detalle canal escalonado (torrentera).



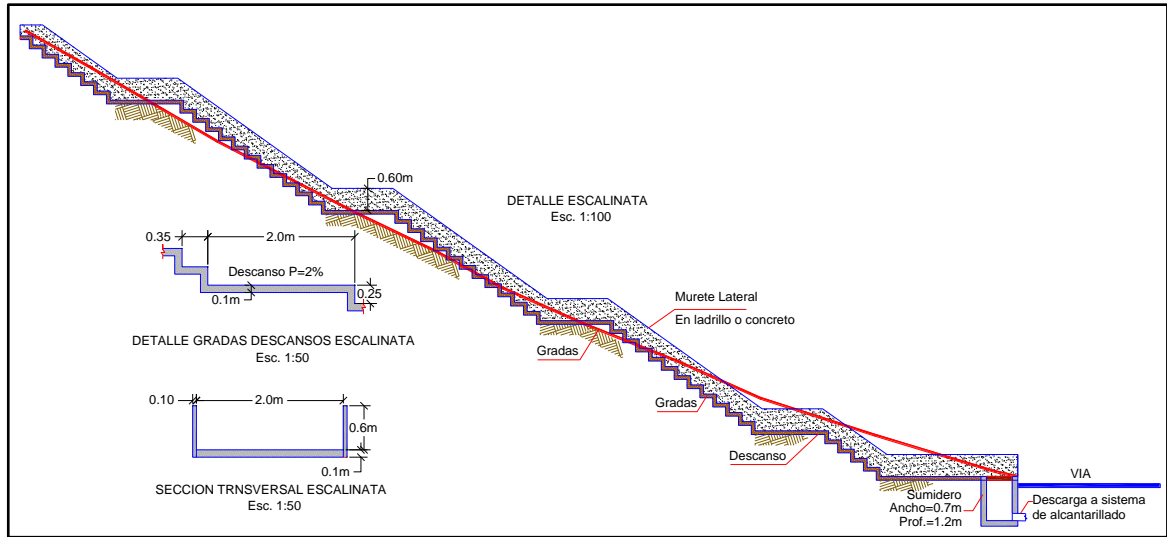
Fuente: Autor.

**Figura 94.** Detalle canal de pantallas deflectoras.



Fuente: Adaptado de [30].

**Figura 95.** Detalle escalinata.



Fuente: Autor.

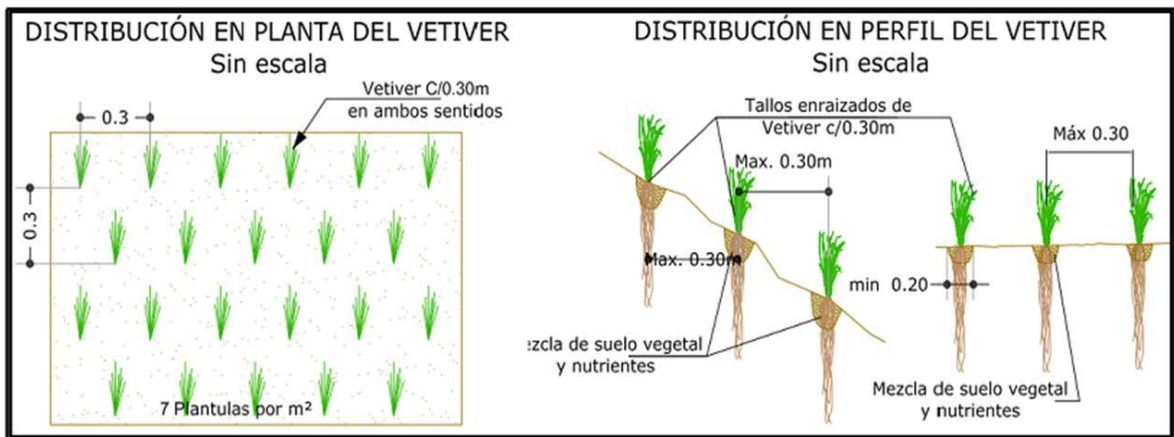
### 6.2.3 Protección superficial.

En la Figura 86 se aprecian las áreas en las que se proyectó la conformación de la superficie del terreno y la revegetación. La protección superficial se realizará para el caso del talud izquierdo (perfil 1) con una pantalla de concreto lanzado (ver Figura 98 y Figura 99) y reforzada con malla electrosoldada, siendo esta parte del sistema de refuerzo con clavos pasivos. Para el talud central (perfil 2) se plantea en la parte alta la misma protección del talud izquierdo y en el resto del talud se proyectó revegetar (ver Figura 102) con biomanto e hidrosiembra o biomanto y pasto estrella o siembra de pasto Vetiver (*vetivera zizanioides*<sup>14</sup>). Se tiene como objetivo reducir la velocidad de escurrimiento del agua y así proteger contra la erosión, que es uno de los problemas presentes en el sector de estudio. En la

<sup>14</sup> Folleto: Vetiver. La barrera contra la erosión. Asociación colombiana de ingenieros constructores-ACIC, seccional Antioquia.

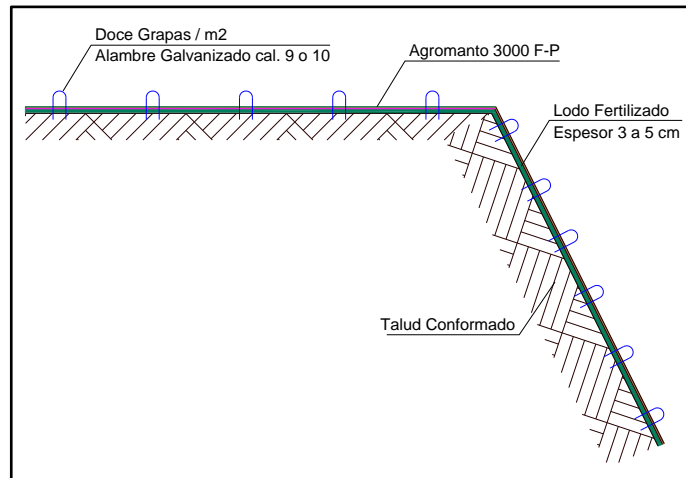
Figura 96 se muestra el detalle de la siembra del Vetiver y en la Figura 97 el detalle de la hidrosiembra.

**Figura 96.** Detalle siembra de pasto Vetiver.



Fuente: Tomado de [16].

**Figura 97.** Revegetalización con biomanto e hidrosiembra.

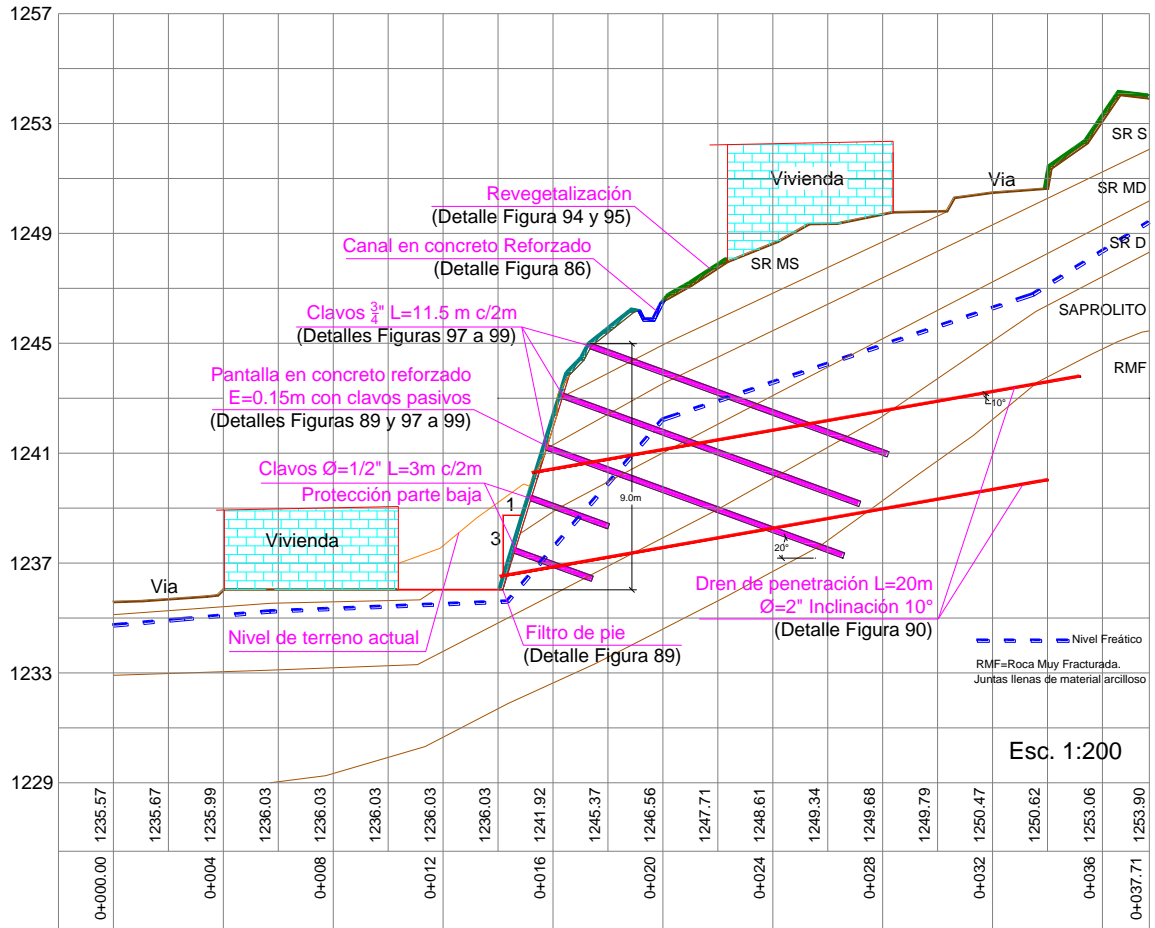


Fuente: Autor.

#### **6.2.4 Elementos de refuerzo.**

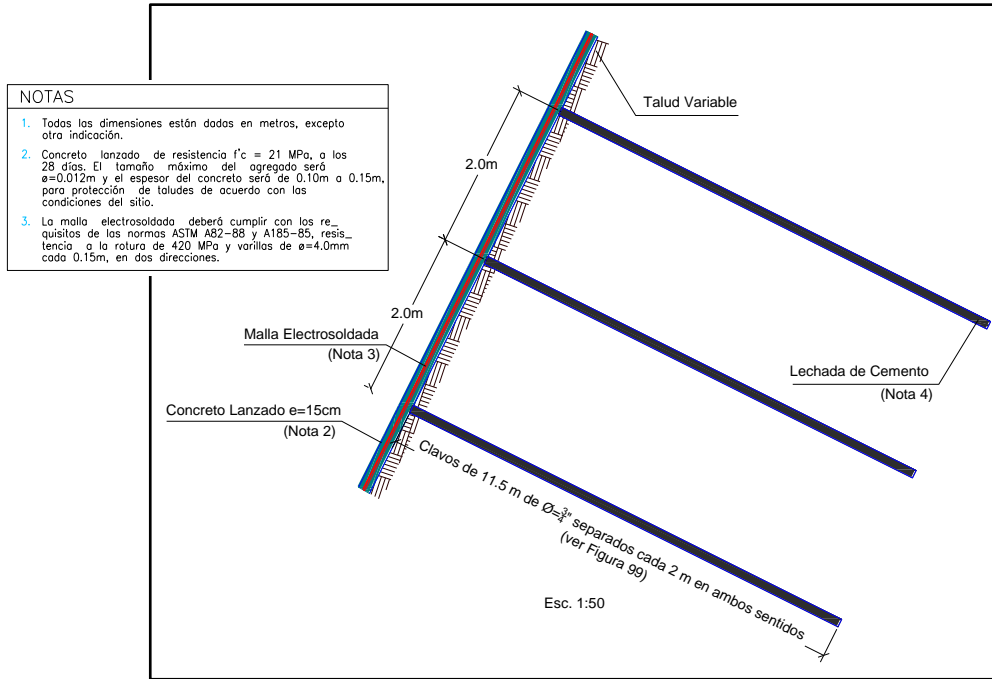
Se proyectó la colocación de pantallas de concreto reforzado con clavos pasivos de 11.5 m de longitud,  $\frac{3}{4}$ " de diámetro y espaciados cada 2 m. Estos se ubicaron en la parte superior del talud central y en todo el talud izquierdo (ver Figura 98 y Figura 102). El objeto de la colocación de los elementos de anclaje es mejorar las condiciones de estabilidad (aumento del factor de seguridad) y además proteger la superficie del talud de los problemas de erosión y la caída progresiva de bloques de material meteorizado. En la Figura 86 se aprecia la localización en planta de los clavos en el talud izquierdo y en la Figura 98, Figura 99, Figura 100, Figura 101 y Figura 102 se aprecian los diferentes detalles de este sistema de refuerzo, tanto para el talud izquierdo como para el talud central.

**Figura 98.** Obras de mitigación en el talud izquierdo (perfil 1).



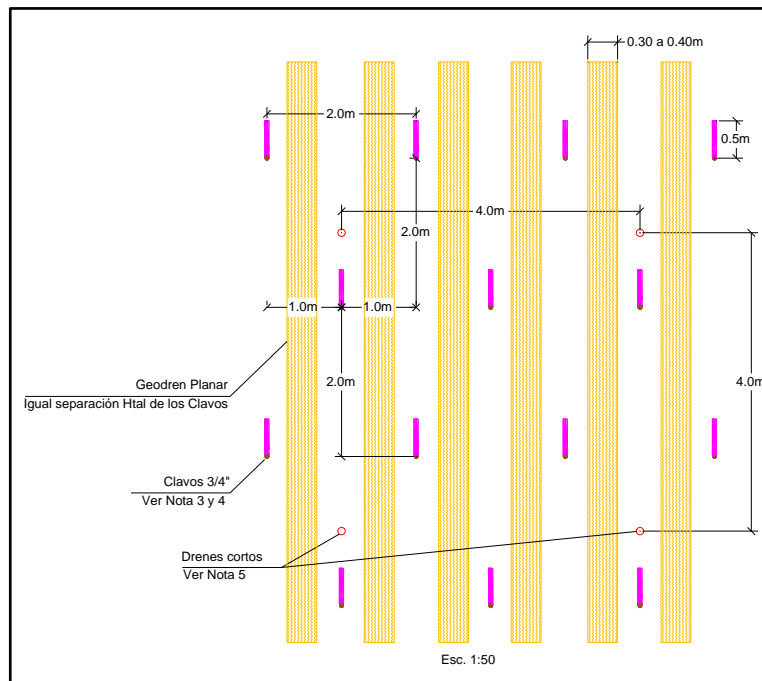
Fuente: Autor.

**Figura 99.** Detalle revestimiento con pantalla de clavos pasivos.



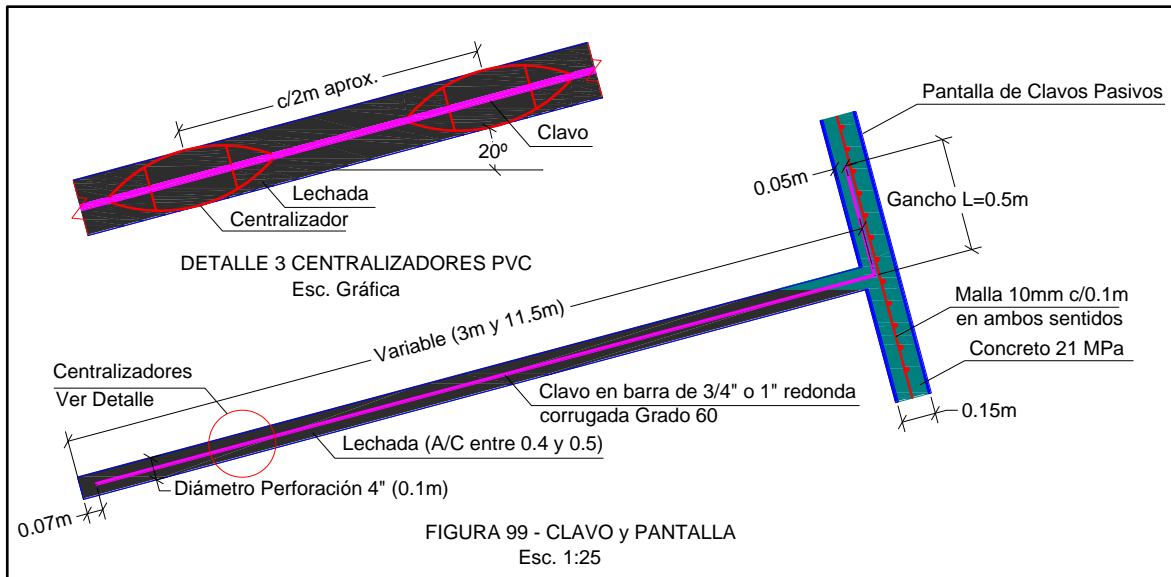
Fuente: Autor.

**Figura 100.** Colocación de clavos, drenes cortos y Geodren planar.



Fuente: Autor.

**Figura 101.** Detalle colocación de clavo – pantalla y centralizador.



Fuente: Autor.

### 6.3 COMPROBACIÓN DE ESTABILIDAD TENIENDO EN CUENTA LAS OBRAS DE MITIGACIÓN.

Se verificó la condición de estabilidad para el talud izquierdo y central con conformación de la superficie de los taludes y la implementación de los elementos de refuerzo. Se modeló la condición estática y la condición dinámica mediante el uso del software Slope/W. Se analizó la situación para falla traslacional (bloque) y para posible falla rotacional. Para el talud central se analizaron dos condiciones de falla rotacional una en la parte central y otra en la parte superior. En el Anexo I se muestran los resultados del modelamiento y en la Tabla 37 se resumen los factores de seguridad obtenidos en cada caso.

**Tabla 37.** Resultados de la comprobación de estabilidad talud central (Slope/W).

Talud/condición	Factor de Seguridad <sup>15</sup>	
	Estático	Dinámico
Talud central (perfil 2) con obras de mitigación. Falla traslacional (Bloque)	2.868	2.036
Talud central (perfil 2) con obras de mitigación. Falla rotacional: Caso 1	1.950	1.366
Talud central (perfil 2) con obras de mitigación. Falla rotacional: Caso 2	2.096	1.519

Fuente: Autor.

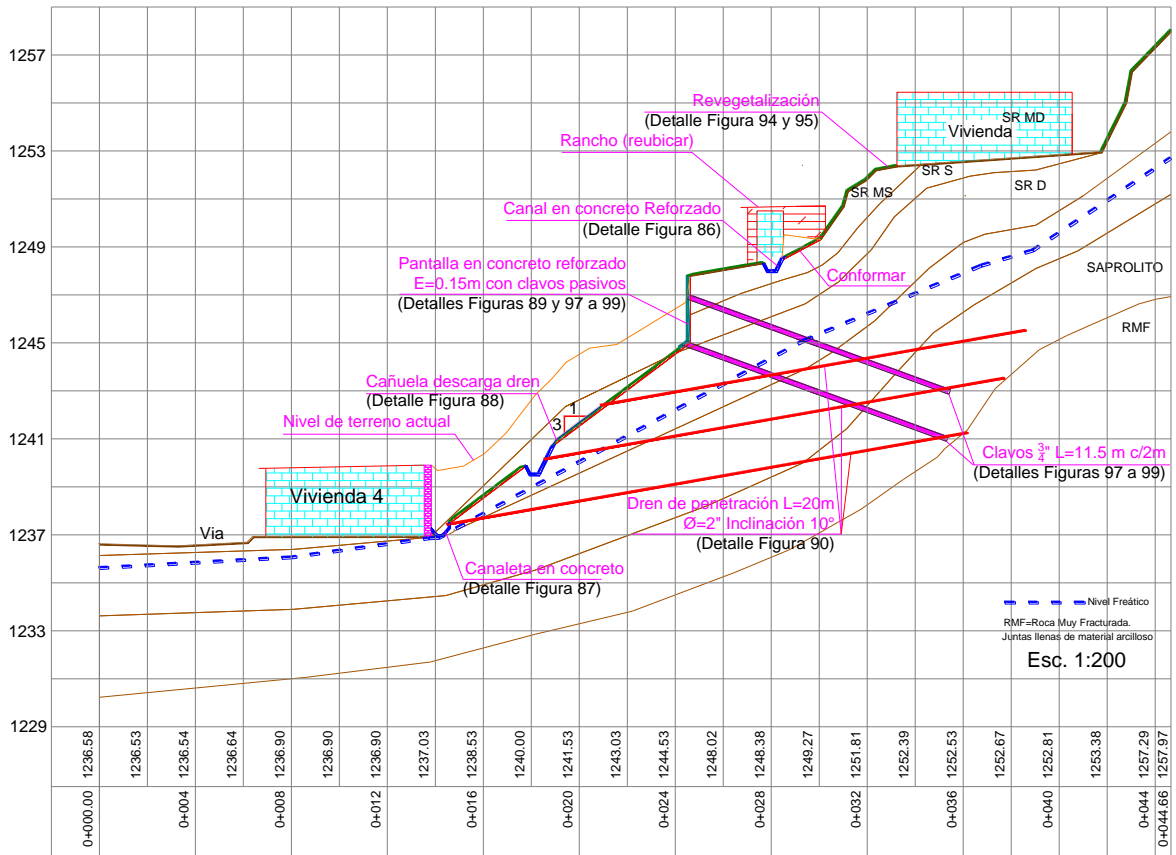
**Tabla 38.** Resultados de la comprobación de estabilidad talud izquierdo (Slope/W).

Talud/condición	Factor de Seguridad <sup>16</sup>	
	Estático	Dinámico
Talud izquierdo (perfil 1) con obras de mitigación. Falla traslacional (Bloque)	1.859	1.273
Talud izquierdo (perfil 1) con obras de mitigación. Falla rotacional.	1.737	1.413

<sup>15</sup> Factores de seguridad para el método de Spencer.

<sup>16</sup> Ibid.

**Figura 102.** Obras de mitigación en el talud central (perfil 2).



Fuente: Autor.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo permitió aplicar una metodología que combina métodos heurísticos (análisis cualitativo, de factores de valuación) y métodos determinísticos (o métodos analíticos de equilibrio límite) para conocer el nivel de influencia en la estabilidad de las laderas de un sector del barrio San Fermín, al sur de la ciudad de Ocaña, que involucran las diferentes variables condicionantes (litológicas, estructurales, climáticas, hidrológicas, hidrogeológicas, topográficas y vegetación) y desencadenantes (naturales: lluvias y sismicidad, actividad antrópica), aquí caracterizadas.

En la zona de estudio afloran cuerpos ígneos plutónicos del Batolito de Ocaña, del Jurásico Superior. Son rocas ígneas plutónicas, de composición granitoide, holocristalinas, félsicas y de textura fanerítica, representadas por granitos, cuarzomonzonitas y granodioritas, que constituyen el también denominado complejo Intrusivo-Extrusivo (Jci). Hay presencia de filónes pegmatíticos, duros y fracturados, con abundante cuarzo y micas. Estos facilitan el movimiento del agua través del macizo rocoso y la consecuente alteración del mismo. Se presentan suelos residuales (regolitos) compuestos por gravas, arenas finas a medias, arcillas y limos (suelos arcillo arenosos y limosos, y suelos arcillo arenosos en superficie y en las zonas alrededor de los filones). Se tiene presencia de vestigios de planos de discontinuidad, con dos familias con potencial de generar falla planar, particularmente la segunda familia con rumbo N 70° W buzando 41° NE.

El sector de estudio pertenece a la Provincia Geomorfológica Cordillera Oriental, dentro de la microcuenca del río Tejo que drena a la subcuenca del río Catatumbo, es una zona de laderas con pendientes más moderadas que fuertes, con

pendientes entre el 60 y el 80%, presentando alto grado de ocupación urbanística subnormal por las comunidades pobres y desplazadas, con vegetación arbustiva no nativa poco densa y cultivos dispersos de pancoger. El sector levantado topográficamente mostro laderas de hasta 130 m de largo, con máximo tres niveles de terrazas o explanaciones para viviendas, generando taludes de cortes internos de entre 5 y 10 m de alto y verticalizados, sin ningún tipo de contención ni manejo de aguas de escorrentía. Además de las construcciones vulnerables hay otro factor inducido: la continua filtración de aguas desde la línea de aducción en concreto de 16", de la planta de tratamiento el Llanito de la ESPO S.A. E.S.P.

Los suelos residuales son granulares, con meteorización moderada a alta, sujetos a procesos de erosión hídrica superficial y de remoción en masa.

Los deslizamientos ocurridos en el sector de estudio, de acuerdo a lo analizado, han sido principalmente de tipo traslacional y laminares, que involucran a incipientes suelos orgánicos y horizontes de suelos residuales hasta el saprolito, moviéndose ocasionalmente en bloques completos y más voluminosos, por las familias de diaclasas desfavorables, de material de composición ígnea granitoide. Estos deslizamientos han destruido en varias ocasiones las viviendas de la parte baja de la ladera y algunas de la parte media, manteniendo en constante riesgo a los habitantes de la zona alta y baja del sector de estudio.

El análisis de estabilidad realizado mediante retro cálculo permitió establecer los parámetros de fricción y cohesión más probables en los taludes críticos (izquierdo y central) para el momento de la falla, valores que son de utilidad para realizar el análisis de estabilidad con la implementación de procesos constructivos. Se determinó que para el momento antes de la falla de los taludes entre los años

2012 y 2013 los factores de seguridad en condiciones dinámicas para falla planar eran del orden de 0.736 (RocPlane) y 0.852 (Slope/W) y para las condiciones estáticas de 0.9 (RocPlane) y 1.08 (Slope/W). Considerando falla circular se tenían FS de 0.758 y 0.945 para condición dinámica y estática respectivamente. Los datos anteriores se determinaron para superficies de falla muy cercanas a la evidenciada en campo para los deslizamientos.

Los taludes críticos de la ladera en estudio para la condición actual, para el caso del talud central, este presenta factores de seguridad de 0.872 (dinámico RocPlane) y 1.005 (estático Rocplane) y de 1.082 (dinámico Slope/W) y 0.852 (estático Slope/W). Para el caso de posible falla circular los factores de seguridad son algo más favorables: 1.308 (dinámico Slope/W) y 1.534 (estático Slope/W). La condición actual del talud izquierdo no es menos crítica encontrándose FS muy bajos para falla planar con el RocPlane del orden de 0.5 y Slope/w y unos FS más acordes del orden de 1.03 / 1.27 (dinámico / estático) para falla circular, la cual es la falla que se presume sea más probable en este talud, facilitada por una superficie de debilidad como la antes mencionada. En los dos taludes en la condición actual hay presencia de grietas de tracción.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo se considera que la metodología de los factores de valuación, que integra análisis determinísticos y heurísticos, permite una evaluación integral y multifactorial de las condiciones de estabilidad de una ladera, así como para orientar en la selección de las obras de control o mitigación requeridas.

Los procesos constructivos (obras de mitigación) que se recomiendan implementar en las laderas del barrio San Fermín, así como en los otros sectores perimetrales

a la zona urbana de Ocaña con análogas características, son: Conformación de la superficie de los taludes, implementación de obras de drenaje y subdrenaje, revegetalización y la instalación de elementos de refuerzo. Para este último se proyectó el refuerzo mediante el uso de una pantalla de concreto reforzado con clavos pasivos, condiciones que permitieron mejorar el factor de seguridad de los taludes críticos.

Los resultados obtenidos permiten a las personas encargadas de la gestión del riesgo valorar de manera preliminar (si se asocia la matriz de procesos constructivos con una de costos) las medidas de mitigación estructural y ayudar en la toma de decisiones en sectores críticos por inestabilidad del terreno.

## BIBLIOGRAFIA

[1] Guerrero L. y Churio C. Inventario de zonas susceptibles a fenómenos de remoción en masa en la parte nor-oriental y nor-occidental del área urbana del municipio de Ocaña, Norte de Santander. Ocaña, 2011., 233p. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Facultad de Ingenierías. Plan de estudio de Ingeniería Civil.

[2] COLOMBIA, DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION – DNP. Plan nacional de desarrollo 2010-2014: Prosperidad para todos. 2011. v. VI, pág. 423-426.

[3] COLOMBIA, MINISTERIO DEL INTERIOR. Sistema nacional de gestión del riesgo. Imprenta Nacional, Bogotá D.C., 2012. 58p.

[4] Cuanalo, O. (2004) Metodología para la selección de procesos constructivos empleados en estabilizar deslizamientos de laderas. Las Villas, Cuba, 2004., 137p. Tesis Doctoral. Universidad Central de Las Villas. Facultad de Construcciones.

[5] INGEOMINAS. Atlas Geológico de Colombia. Escala 1:1.000.000. Elaborado por: Jorge Gómez Tapias, et al. Primera edición. Servicio Geológico, Bogotá, D.C., 2007.

[6] INGEOMINAS. Mapa metamórfico de Colombia. Escala 1:500.000. Serie distribución, facies y edad de las rocas metamórficas en Colombia. Compilado por: Mario Maya Sánchez y Edgar Vásquez Arroyave. Ingeominas, Bogotá, D.C., 2001.

[7] INGEOMINAS. Plancha 76 Ocaña. Escala 1:100.000. Bogotá, 1980.

[8] Reyes M., G. A. (2013). Concepto técnico especializado sobre el deslizamiento ocurrido en octubre del año 2011 en el barrio la Esperanza, Municipio de Ocaña (Norte de Santander). Elaborado para la Universidad Francisco de Paula Santander, Seccional Ocaña. Bucaramanga, octubre 23 de 2013, 34p.

[9] OCAÑA, CONCEJO MUNICIPAL. Plan básico de ordenamiento territorial, capítulo 4: Componente urbano. 2002. p. 268-269.

[10] INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (ITGE). Manual de ingeniería de taludes. Madrid, 1991. pág. 9-12, 17-18, 188.

[11] Cuanalo, C., Oliva, A. y González C. Estabilidad de laderas. Análisis mediante factores de valuación. Revista IngeoPres. Ingeniería Geológica y Geotécnica. No. 164 Octubre de 2007. Editorial: Entorno Gráfico, S.L. España. pág. 38-44.

[12] González, L. Meteorización y Suelos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Escuela de Geociencias. Medellín, 2003. pág. 1, 10, 11.

[13] González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. Ingeniería geológica. PEARSON EDUCACION, Madrid, 2002. pág. 19,

[14] Suárez, J. Deslizamientos. Volumen 1: Análisis Geotécnico. Publicaciones UIS, Bucaramanga, 2009. pág. 2-17, 164, 389, 408.

[15] Santancana, N. Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfica. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat. [en línea]. [Cataluña, España]: Universidad Politécnica de Cataluña, julio de 2001 [citado 25 nov.,. 2013] Disponible en <http://hdl.handle.net/10803/6213>.

[16] Torrado L. Propuesta de estabilización del talud ubicado entre el PR0+200 al PR0+400 costado occidental del condominio Ruitoque. Bucaramanga, 2012., 222p. Tesis de Grado (Magister en Geotecnia). Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Civil.

[17] Terzaghi, K., Peck, R., and Mesri, G. "Soil Mechanics in Engineering Practice," 3rd Ed., 1996. J. Wiley & Sons, Inc.

[18] Oosterbaan, R.J. and Nijland, H.J. Determining the saturated hydraulic conductivity. [en línea]. [Wageningen, The Netherlands]: International Institute for Land Reclamation and Improvement ( ILRI), Publication 16, second revised edition, 1994 [citado 20 nov., 2013] Disponible en <http://www.waterlog.info/pdf/chap12.pdf>.

[19] Correa, A. Principios básicos de ingeniería de rocas con aplicación a rocas colombianas. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 2005. 374p.

[20] Santamaría, C. Estudio geotécnico de los problemas de inestabilidad presentados en el PR10+0850 de la vía San Gil – Mogotes – San Joaquín – Onzaga. Bucaramanga, 2012., 89p. Tesis de Grado (Magister en Geotecnia). Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Civil.

[21] ASCE-Los Angeles Section Geotechnical Group. Recommended procedures for implementation of DMG special publication 117 guidelines for analyzing and mitigating landslide hazards in California. [en línea]. [Los Angeles, California-EEUU]. June 2002. [citado 20 nov., 2013] Disponible en <http://www.scec.org/resources/catalog/hazardmitigation.html>

[22] Terzaghi, K., and Peck, R. B. (1967). Soil Mechanics in Engineering Practice. 2<sup>nd</sup> ed., Wiley, New York.

[23] Hernández, T. Catálogo Nacional de Estaciones IDEAM. [en línea]. Mayo 2012. [citado 21 dic., 2013] Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/94042929/Catalogo-Nacional-de-Estaciones-IDEAM>.

[24] Trigos A. y Navarro R. Estudio preliminar para la determinación de la ronda y definición de la cota máxima de inundación del río Chiquito del municipio de Ocaña Norte de Santander. Ocaña, 2005., 93p. Trabajo de grado (Ingeniero

Ambiental). Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Facultad de Ciencias Agrarias y del Medio Ambiente. Plan de estudio de Ingeniería Ambiental.

[25] ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERIA SISIMICA, COMITÉ AIS-300. Estudio general de amenaza sísmica de Colombia 2009. [en línea] [Bogotá, D.C., Colombia]. 226p. Mayo 2010. [citado 06 mayo, 2013] Disponible en [http://www3.udenar.edu.co/michel/downloadhandler.ashx?pg=3546e279-e8a3-4352-991d-cdff719353fb&ion=0aafa292-4e40-431f-94c1-04b95974927c&file=estudio+general+de+amenaza+s%c3%adsmica+de+colombia+2009\\_ais\\_lowres.pdf](http://www3.udenar.edu.co/michel/downloadhandler.ashx?pg=3546e279-e8a3-4352-991d-cdff719353fb&ion=0aafa292-4e40-431f-94c1-04b95974927c&file=estudio+general+de+amenaza+s%c3%adsmica+de+colombia+2009_ais_lowres.pdf).

[26] COLÓN GENOVA, ALCALDIA MUNICIPAL. Plan local de emergencias y contingencias. [en línea] [Colón Génova, Nariño]. 144p. Marzo 2009. [citado 06 enero, 2014] Disponible en <http://colongenova-narino.gov.co/apc-aa-files/34316266616364343434616432343431/plecs-colon.pdf>.

[27] PERÚ. SECRETARIA GENERAL DE LA COMUNIDAD ANDINA. Estrategia andina para la prevención y atención de desastres. [en línea] [Lima, Perú]. 43p. Septiembre 2009. [citado 06 enero, 2014] Disponible en <http://www.comunidadandina.org/predecan/doc/libros/EAPAD+ESP.pdf>

[28] Reyes M., G. A. Atención técnica, inventario y gestión del riesgo por procesos morfodinámicos en áreas rurales estratégicas de los andes del norte: El caso de la cuenca hidrográfica del río las Ceibas, Huila (Colombia). Barcelona, julio de 2011, 230p. Memoria máster en geología, especialidad riesgos geológicos, Universitat de Barcelona – Universitat Autònoma de Barcelona.

[29] Reyes M., G. A. Amenazas, desastres y desarrollo normativo en Colombia, conceptos generales y mitigabilidad del riesgo. Bucaramanga, 2013. 21p. Conferencias de clase Especialización en Geotecnia Ambiental. Universidad de Santander-UNDES.

[30] Mejía F. Estructuras de vertimiento de aguas en laderas de media a fuerte pendiente. Canal de pantallas deflectoras (CPD) y canal de rápida con tapa y columpio (CRTC). Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Manizales: Editorial Blanecolor Ltda, 2009, 85p. ISBN 978-958-8280-28-8.

## **ANEXOS**

## **Anexo A.** Metodología de los factores de valuación

## **ESTABILIDAD DE LADERAS. ANÁLISIS MEDIANTE FACTORES DE VALUACIÓN**

La estabilidad de una ladera esta notoriamente influenciada por las características intrínsecas de esta y las de la región donde se ubica. Estas características constituyen lo que se conoce como factores condicionantes y desencadenantes, abarcando desde la morfología, topografía, tipos de suelos o condiciones del macizo rocoso, la hidrogeología, la vegetación, las condiciones climáticas, la sismicidad, los procesos geodinámicos hasta la actividad humana en la ladera [10].

Los métodos cuantitativos de cálculo (equilibrio límite y métodos de cálculo en deformaciones) solo permiten abordar en el modelo geotécnico de la ladera algunos de los factores condicionantes y desencadenantes. Es por ello que la aplicación de un método que incluya el análisis cuantitativo y cualitativo de la mayor cantidad de factores incidentes en la estabilidad de una ladera, permite que se tenga mayor claridad en el nivel de influencia de estos y de esta manera recomendar los procesos constructivos más adecuados para mitigar el efecto de estos factores. Teniendo en cuenta lo anterior se encontró en la literatura sobre estabilidad de laderas un método desarrollado por el docente investigador de la Benemérita Universidad de Puebla – México, en el cual se integra la valoración cualitativa del nivel de influencia, en la estabilidad de una ladera potencialmente inestable o con procesos activos, de un amplio grupo de factores condicionantes y desencadenantes, junto con la valoración cuantitativa por métodos determinísticos de las condiciones de estabilidad de la ladera (factor de seguridad). A continuación se detalla dicha metodología tomada de la referencia [10] y con autorización del autor.

En la Tabla 1 siguiente se resumen los factores de valuación que se evalúan.

**Tabla 1.** Resumen de los Factores de Valuación.

Factor de valuación	Concepto		Obtenidos en función de:
Dependiente de las características intrínsecas de la ladera	Morfología y topografía		Forma e inclinación de la ladera
	Geología		Plegamientos
			Fracturación
			Meteorización
			Propiedades físicas y mecánicas
	Mecánica de suelos	Suelos gruesos	Inclinación de la ladera y ángulo de fricción interna
		Suelos finos	Inclinación de la ladera, altura, peso volumétrico y resistencia no drenada
	Hidrogeología		Inclinación de la ladera y grado de saturación del suelo
			Espesor del suelo
	Vegetación		Tipo de vegetación
			Densidad de follaje
			Área cubierta
Tipo de raíz			
Dependientes de las condiciones regionales del sitio	Lluvia		Precipitación promedio anual
	Terremotos		Coeficiente sísmico
	Erosión y socavación		Características del suelo superficial
			Área de la cuenca
			Características del sistema de drenaje
	Actividad humana		Cortes o excavaciones
Sobrecargas			

Factor de valoración	Concepto	Obtenidos en función de:
		Deforestación
Dependientes del cálculo de estabilidad	Superficie de rotura	Profundidad
	Factor de seguridad	Valor cuantitativo

Fuente: [10]

La metodología requiere el desarrollo de las siguientes etapas de trabajo:

- I. Obtención de datos a partir de estudios ingeniero – geológicos.
- II. Evaluación de la estabilidad antes de aplicar procesos constructivos. En esta etapa se desarrollan los siguientes análisis:
  - Cálculo del Factor de seguridad ( $F_s$ ) y ubicación de la superficie crítica de rotura
  - Análisis de la estabilidad mediante factores de valoración.
- III. Selección de procesos constructivos y elaboración de propuestas de estabilización.

## 1. FACTORES ASOCIADOS A LAS CARACTERÍSTICAS INTRINSECAS DE LA LADERA. Tomado de [10]

Se evalúa la incidencia en la estabilidad de la ladera de factores como su morfología y topografía, geología, tipos de suelos, condiciones hidrogeológicas y vegetación.

### 1.1 MORFOLOGÍA Y TOPOGRAFÍA

Se proponen factores de valoración morfo-topográficos ( $f_{mr}$ ) que toman en cuenta la morfología e inclinación máxima de la ladera pues su altura, aunque influye de

manera importante en la estabilidad, es considerada en los factores de valuación de mecánica de suelos descritos más adelante. Se considera el efecto de un peso unitario del terreno ( $W = 1$ ) y se determinan sus componentes en las direcciones normal y paralela a la inclinación del talud ( $\beta$ ); esta última componente representa el peso de la masa de suelo o roca que tiende a deslizar y cuyo valor es  $W \cdot \text{seno}(\beta)$ , su nivel de influencia se evalúa de acuerdo a la Tabla 2.

**Tabla 2.** Factores de valuación morfo-topográficos.

Características de ladera	Detalles intrínsecos				
Morfología	Plano	Loma suave	Loma fuerte	Montañoso	Escarpado
Inclinación	$0 \div 5^\circ$	$5 \div 15^\circ$	$15 \div 30^\circ$	$30 \div 53^\circ$	$> 53^\circ$
Factor de valuación	$f_{mt} = \text{sen } \beta$				

Fuente: [10]

## 1.2 GEOLOGÍA

Se toma en cuenta la estructura geológica de la formación rocosa, definida por su sistema de plegamientos y discontinuidades que originan un comportamiento anisotrópico del material y de sus planos preferenciales de falla. Otro aspecto importante que se considera es la meteorización de los materiales, provocados por las condiciones climáticas del sitio; principalmente la temperatura, humedad, lluvia, viento, insolación, etc., que producen alteraciones físicas y químicas que desintegran las rocas y sus minerales, provocando un amplio intervalo de variación en las propiedades geotécnicas que dan origen a comportamientos

mixtos entre suelo y roca. En la Tabla 3 se especifican los factores de valuación para evaluar la incidencia de este factor.

**Tabla 3.** Factores de valuación geológicos.

Características de la ladera		Detalles intrínsecos / factor de valuación geológico ( $f_g$ )				
Plegamiento		$f_g = \text{sen } \alpha$				
Fracturación de la roca *		Red densa, fractura junta	Fracturas cada 20 -30 cm	Fracturas cerradas pocas juntas	Microfisuras	Roca monolítica
		Muy mala calidad RQD < 25%	Mala calidad RQD: 25 - 50%	Media calidad RQD: 50 - 75%	Buena calidad RQD: 75 - 90%	Muy buena calidad RQD 90 - 100%
		1 - 0.88	0.88 - 0.75	0.75 - 0.50	0.50 - 0.20	0.20 - 0
Meteorización +	Química	Muy intensa	Intensa	Moderada	Baja	Muy baja
		1	0.75 - 1	0.50 - 0.75	0.25 - 0.50	< 0.25
	Física	Muy intensa	Intensa	Moderada	Baja	Muy baja
		1	0.75 - 1	0.50 - 0.75	0.25 - 0.50	< 0.25
Propiedades	Físicas	$f_g = 1 - (D_s / D_e)$				
	Mecánicas	$f_g = 1 - (D_s / D_e)$				
<p>Notas: * Adecuación del coeficiente de debilidad de rocas propuesto por Komarnitskii (Jumikis A, 1986),            + Adecuación de las gráficas de relación entre clima y los procesos de meteorización propuestos por Emblenton y Thurner (González L, 2002).</p>						
<p>Nota. El término <math>D_s</math> corresponde a las propiedades de la roca obtenidas en el laboratorio (se propone utilizar el peso volumétrico para las propiedades físicas y la resistencia a la compresión simple para las propiedades mecánicas). El valor de <math>D_e</math> se refiere a las propiedades mencionadas anteriormente pero obtenidas de la literatura técnica considerando el macizo rocoso.</p>						

Fuente: [10]

### 1.3 MECÁNICA DE SUELOS

Para los *factores de valuación de mecánica de suelos* ( $f_{ms}$ ) se toma en cuenta el tipo de suelo presente en la ladera, clasificados en suelos gruesos y suelos finos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS. Para los suelos gruesos se considera su compacidad definida por el ángulo de fricción interna, como principal factor que gobierna su comportamiento; mientras que para los suelos finos se toma en cuenta la altura e inclinación del talud, su peso específico y su consistencia en función de la cohesión.

Aunque en la naturaleza es común encontrar suelos gruesos mezclados con finos, en este trabajo se propone tratar de manera independiente los suelos friccionantes y cohesivos. En los primeros se consideran las gravas y arenas bien y mal graduadas, y en los segundos se incluyen las arcillas, limos y los suelos orgánicos, todos ellos de baja y alta compresibilidad.

#### 1.3.1 Suelos friccionantes.

Como la estabilidad general de una ladera formada por suelos friccionantes depende fundamentalmente de la resistencia del suelo y por tanto de su compacidad y también depende de la inclinación del talud. El factor de seguridad se puede determinar de manera sencilla mediante la ecuación:

$$F_s = \frac{\tan \phi}{\tan \beta}$$

Donde:

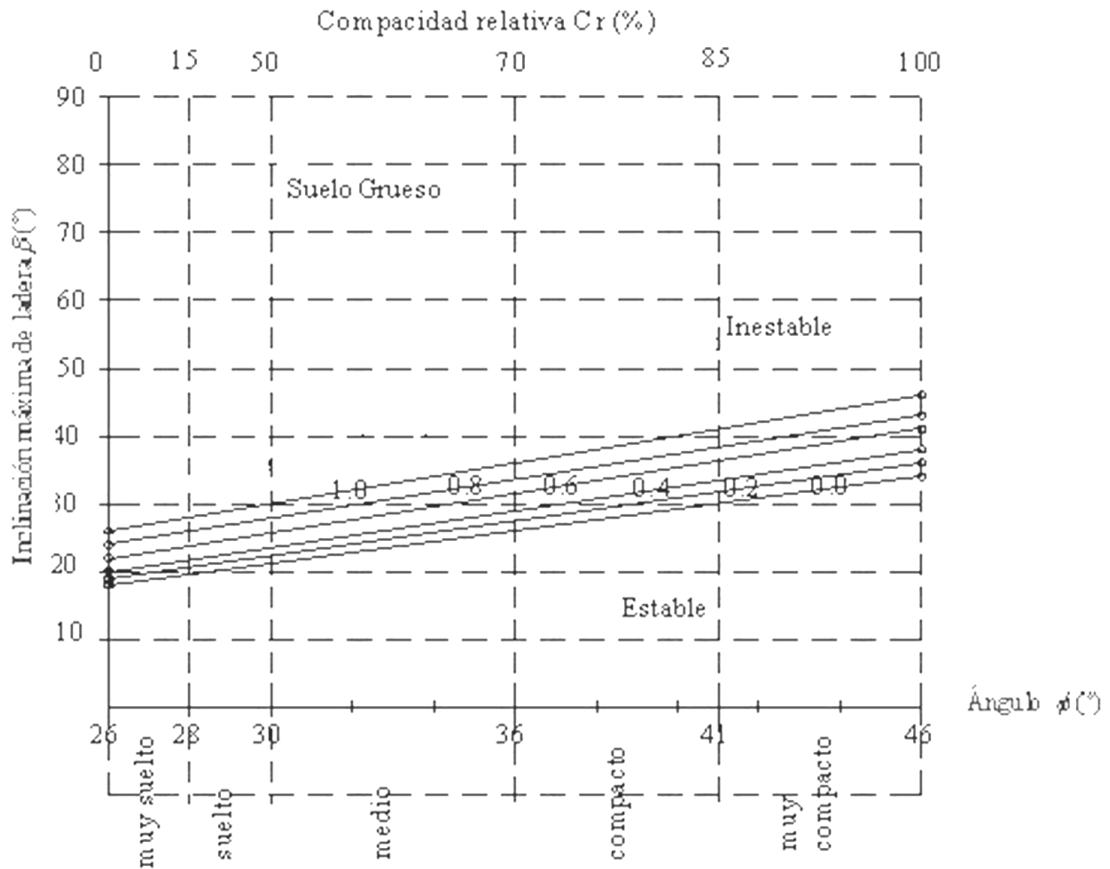
$F_s$  = Factor de seguridad

$\phi$  = Ángulo de fricción interna del suelo

$\beta$  = Ángulo de inclinación de la ladera

La condición de estabilidad crítica se presentará cuando el ángulo del talud ( $\beta$ ) sea igual al ángulo de fricción interna del suelo ( $\phi$ ), en este caso  $F_s = 1$  y la ladera estará en una condición de equilibrio crítico, por lo que el factor de valuación de mecánica de suelos ( $f_{ms}$ ) será también unitario; cuando el factor de seguridad ( $F_s$ ) sea igual a 1.5 (valor propuesto como límite inferior), el comportamiento será estable y entonces el factor de valuación es igual a cero ( $f_{ms} = 0$ ). En la Figura 1 se presentan los factores de valuación para suelos friccionantes, en función del ángulo de fricción ( $\phi$ ), de la inclinación del talud ( $\beta$ ) y del factor de seguridad ( $F_s$ ).

**Figura 1.** Factores de valuación para suelos friccionantes.



Fuente: [10]

### 1.3.2 Suelos cohesivos.

Para una ladera constituida por suelos cohesivos, la estabilidad depende de su altura, inclinación y propiedades resistentes. Todas estas variables se presentan relacionadas de manera sencilla en las fórmulas del método de Taylor para el análisis de estabilidad. Whitlow R. (1998); Braja M. (2001); González L. (2002); Suárez J. (1998); Winterkorn y Fang (1987). Dichas fórmulas son:

$$H_c = \frac{N_s c}{\gamma} \quad \text{y} \quad F_s = \frac{H_c}{H}$$

Donde:

$F_s$  = Factor de seguridad

$N_s$  = Factor de estabilidad definido en el método de Taylor

$H_c$  = Altura crítica

$c$  = Cohesión

$H$  = Altura del talud

$\gamma$  = Peso específico

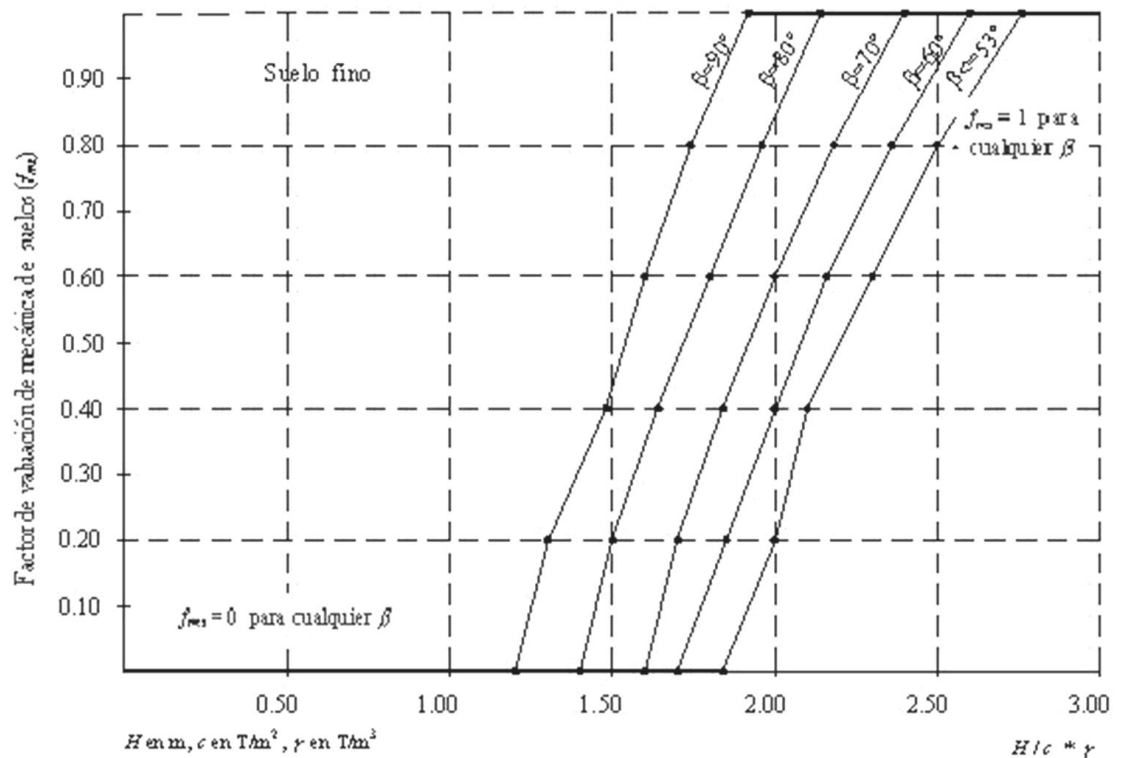
A partir de las ecuaciones anteriores se obtuvieron los factores de valuación de mecánica de suelos tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Cuando el  $F_s = 1$  se tiene una condición de equilibrio límite y por lo tanto la altura del talud corresponde a la altura crítica ( $H = H_c$ ). En este caso se tendrá un factor de valuación  $f_{ms} = 1$  que representa una condición de riesgo potencial.
- A medida que el factor de seguridad aumenta, la estabilidad mejora y  $f_{ms}$  disminuirá. Cuando  $F_s = 1,5$ , que es el valor mínimo aceptable, se tendrá un factor de valuación nulo ( $f_{ms} = 0$ ).

- Por tanto, valores del factor de seguridad entre 1 y 1.5, corresponden a valores intermedios entre 1 y 0 para el factor de valuación ( $f_{ms}$ ).

La gráfica de la Figura 2 relaciona la altura del talud ( $H$ ), la cohesión del suelo ( $c$ ), el peso específico ( $\gamma$ ) la inclinación de la ladera ( $\beta$ ) y los factores de valuación ( $f_{ms}$ ) propuestos.

**Figura 2.** Factores de valuación para suelos cohesivos.



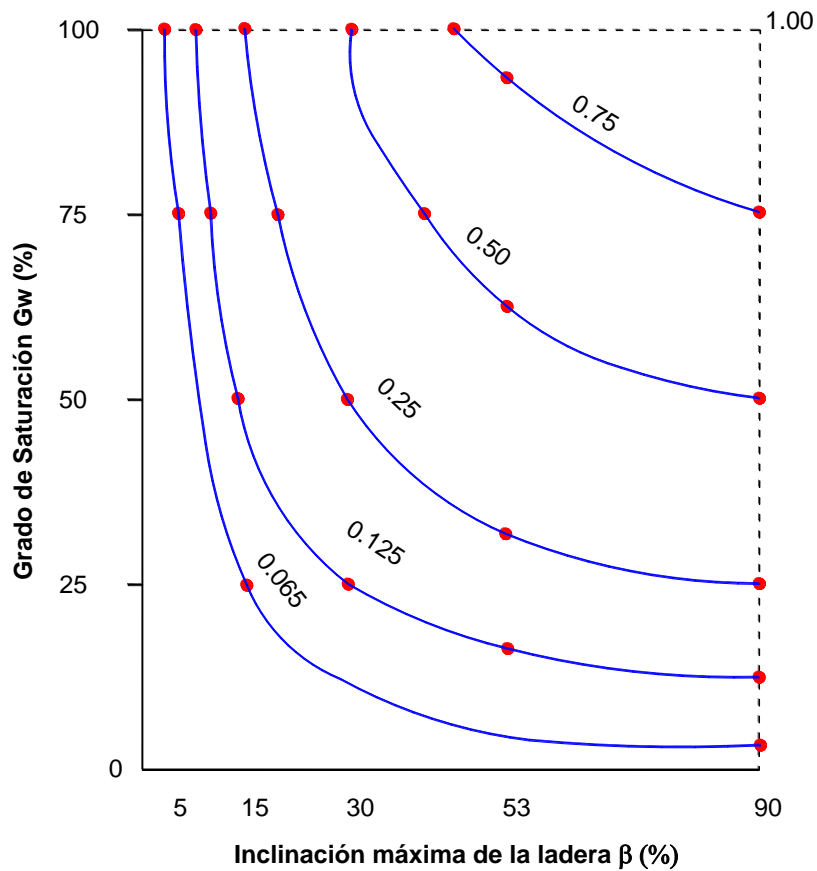
Fuente: [10]

## 1.4 CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS

Los *factores de valuación hidrogeológicos* ( $f_h$ ) se obtienen en función del grado de saturación del suelo ( $G_w$ ), el ángulo de inclinación de la ladera ( $\beta$ ) y el espesor del estrato de suelo ( $e$ ).

La relación de dichos factores con el grado de saturación del suelo y el ángulo de inclinación de la ladera se presenta en la fórmula:  $f_h = G_w \cdot \text{sen } \beta$ . Lo anterior se representa gráficamente en la Figura 3.

**Figura 3.** Factores de valuación según el grado de saturación e inclinación de la ladera.



Fuente: Adaptado de [10]

Para establecer la relación entre los factores hidrogeológicos y el espesor de suelo, se toma en cuenta el perfil probable de meteorización de la ladera que puede incluir suelo residual, roca completamente meteorizada, moderadamente meteorizada, levemente meteorizada y roca sana. Se consideró que cuando el espesor del estrato de suelo es pequeño, este queda anclado a los estratos más profundos por medio de las raíces de los árboles. Por el contrario, para espesores mayores de suelo la superficie de deslizamiento será más profunda incrementando el riesgo de fallo. En la Tabla 4 se indican los valores de factores de evaluación propuestos.

**Tabla 4.** Factores de valuación hidrogeológicos según el espesor del suelo.

Espesor de suelo ( $e$ )	Superficie de falla	Factor $f_h = 0,05e$
< 1.5 m	Superficial	0 - 0.075
1.5 a 5 m	Somera	0.075 - 0.25
5 a 12.5 m	Profunda	0.25 - 0.625
12.5 a 20 m	Muy profunda	0.625 - 1

Fuente: [10]

## 1.5 VEGETACIÓN

Se proponen los *factores de valuación de la vegetación* ( $f_v$ ) dependientes del tipo de vegetación, de la densidad de follaje que amortigua el impacto de las gotas de lluvia, del área cubierta por la vegetación y de la profundidad de las raíces que absorben agua del subsuelo y permiten el anclaje a la roca (Tabla 5); todos ellos se obtuvieron de una interpolación lineal considerando valor cero (0) para efecto mínimo sobre la estabilidad, y uno (1) para efecto significativo.

**Tabla 5.** Factores de valuación según la vegetación.

Características de la vegetación	Factor de valuación en vegetación ( $f_v$ )				
	Árbol	Arbusto	Hierba o matorral		Pasto
Tipo de vegetación	0	0.33	0.66		1
Densidad de follaje*	Nulo o escaso	Poco	Medio	Espeso	Muy espeso
	1	0.7	0.5	0.2	0
Área cubierta por la vegetación	Nulo	¼ área	½ área	¾ área	total
	1	0.75	0.5	0.25	0
Profundidad de la raíz	Somera	Superficial	Media	Profunda	Muy profunda
	< 0.3 m	0.3 - 0.5 m	0.5 - 1.5 m	1.5 - 3.0 m	> 3.0 m
	1 - 0.92	0.92 - 0.85	0.85 - 0.52	0.52 - 0	0
Nota: * Se propone evaluar la densidad del follaje con el porcentaje de sol que pasa a través de las hojas en el área que proyecta la copa del árbol en verano.					

Fuente: [10]

## 2. FACTORES ASOCIADOS A LAS CONDICIONES REGIONALES. Tomado de [10]

Algunas características y condiciones de la región donde se ubica la ladera pueden afectar de manera significativa su estabilidad. Se presentan factores de valuación para considerar el efecto de la lluvia, los terremotos, la erosión y socavación, y la actividad humana.

## 2.1 LLUVIA

En este trabajo, se proponen *factores de valuación por lluvia* ( $f_{ll}$ ) determinados mediante interpolación lineal a partir de los datos de precipitación promedio anual, aunque se podría tomar en cuenta además la intensidad de la lluvia en un periodo de tiempo y su distribución. Los valores de dichos factores se presentan en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Factores de valuación por lluvia.

Características de lluvia	Factor de valuación de lluvia ( $f_{ll}$ )				
Precipitación promedio anual	< 400 mm	400 - 800 mm	800 - 1500 mm	1500 - 3000 mm	3000 -4500 mm
Clasificación	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Factor de valuación $f_{ll} = 2.2 \times 10^{-4} P$	< 0.09	0.09 - 0.18	0.18 - 0.33	0.33 - 0.67	0.67 - 1
P = precipitación promedio anual en mm					

Fuente: [10]

## 2.2 TERREMOTOS

Se proponen *factores de valuación por terremotos* ( $f_t$ ) determinados a partir de una correlación lineal con los coeficientes de diseño sísmico, estos últimos obtenidos en función del tipo de terreno (firme, transición o compresible), la

frecuencia con la que ocurre el evento y la aceleración del suelo, esta última en función de la magnitud e intensidad de los movimientos (Tabla 7).

**Tabla 7.** Factores de valuación por terremoto.

Zona sísmica	Tipo de suelo	Coeficiente sísmico ( $C_s$ )	Factor de valuación $f_t = 1,1628C_s$
A	Firme	0.08	0.09
	Transición	0.16	0.19
	Compresible	0.20	0.23
B	Firme	0.14	0.16
	Transición	0.30	0.35
	Compresible	0.36	0.42
C	Firme	0.36	0.42
	Transición	0.64	0.74
	Compresible	0.64	0.74
D	Firme	0.50	0.58
	Transición	0.86	1
	Compresible	0.86	1
Datos tomados de la regionalización sísmica de la República Mexicana			

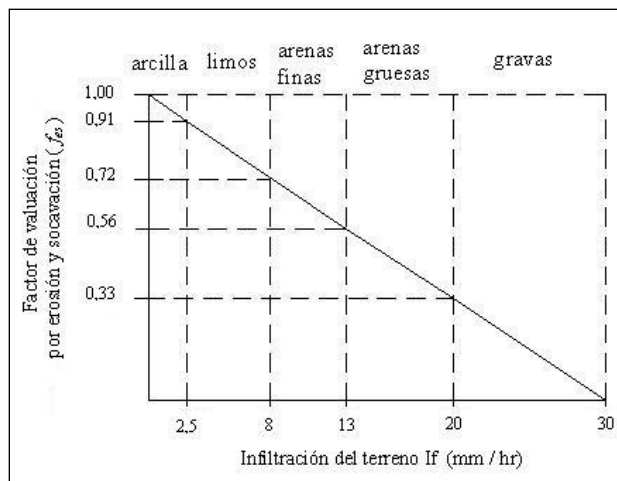
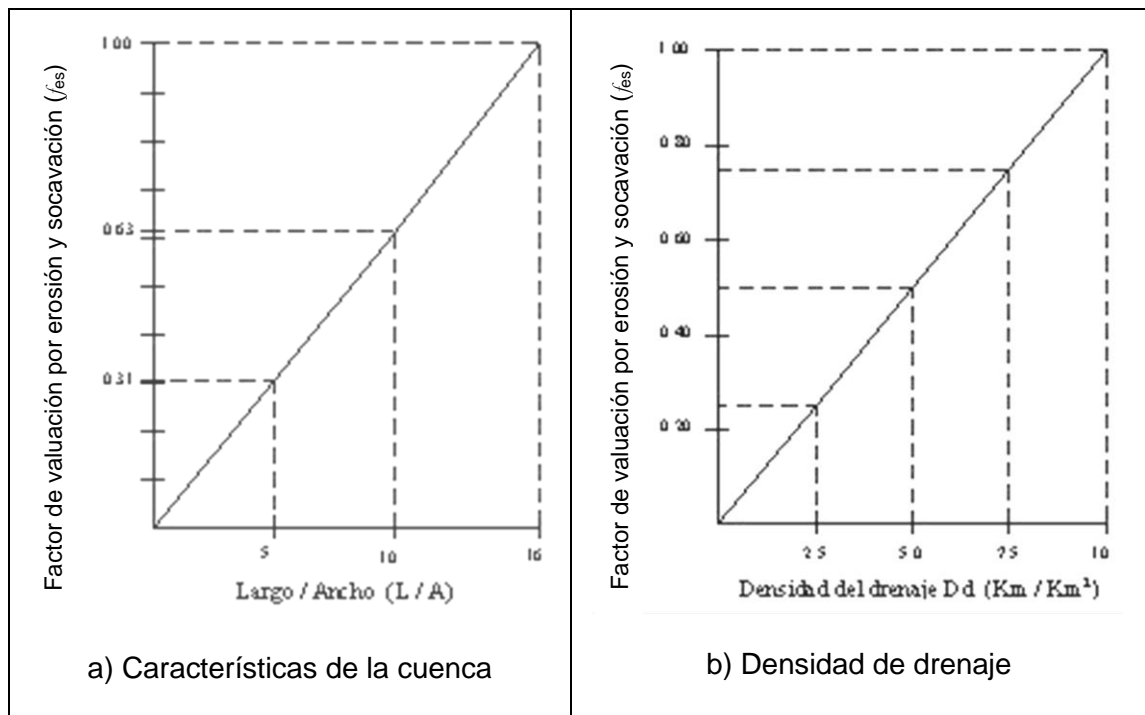
Fuente: [10]

## 2.3 EROSIÓN Y SOCAVACIÓN

Se propone determinar los *factores de valuación por erosión y socavación* ( $f_{es}$ ), a partir de las características geométricas de la cuenca (largo y ancho), considerando que la forma de ésta influye en el hidrograma de la corriente, el cual representa el caudal que determina la magnitud de los problemas de erosión. También se tuvieron en cuenta las características del sistema de drenaje definidas por su densidad (sumatoria de la longitud de las corrientes tributarias entre el área total de la cuenca), considerando que a mayor densidad de drenaje se tendrán

mayores caudales en la corriente. Springall R. (1970); Suárez J. (2001). Finalmente se incluyen las características del terreno evaluadas en función de su capacidad de infiltración. En los gráficos de la Figura 4 se presentan los factores de valuación por erosión y socavación propuestos.

**Figura 4.** Factores de valuación por erosión y socavación.



Fuente: [10]

## 2.4 ACTIVIDAD HUMANA

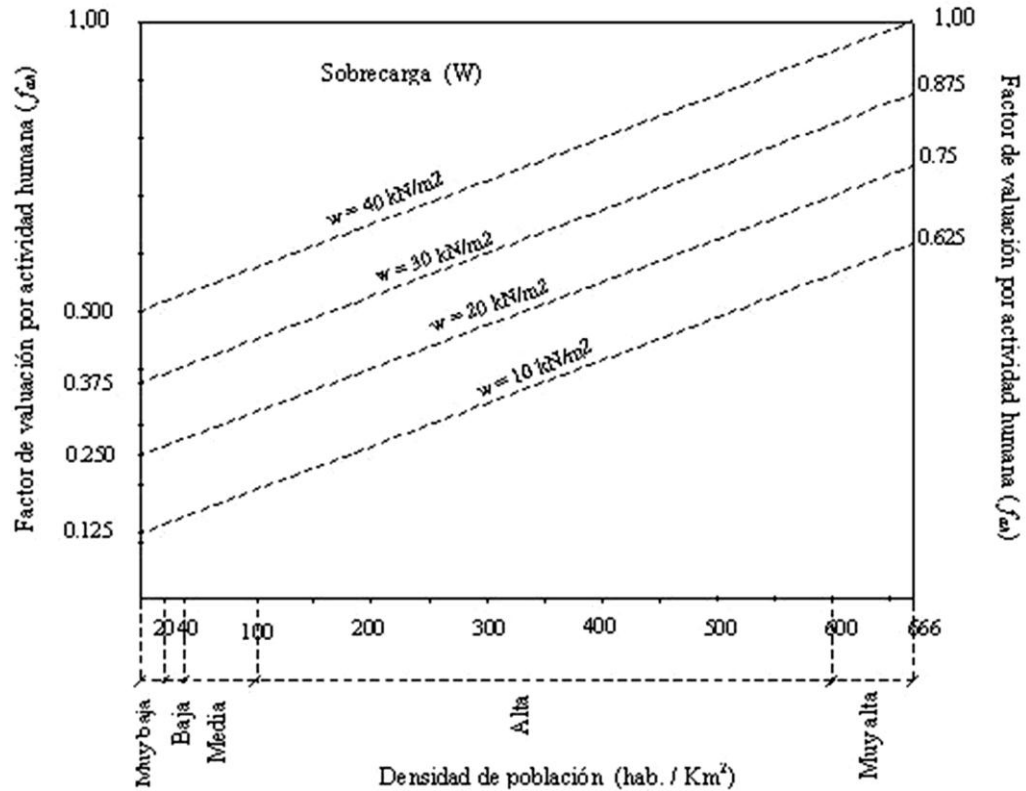
Se definen *factores de valuación por actividad humana* ( $f_{ah}$ ), que toman en cuenta la presencia de cortes y/o excavaciones, sobrecargas debido a edificaciones y la deforestación del área en estudio (Tabla 8).

**Tabla 8.** Factores de valuación por actividad humana.

Acciones de la actividad	Factores de valuación por actividad humana ( $f_{ah}$ )				
Cortes y excavaciones	Estabilizados por procesos constructivos eficientes			No estabilizados	
	0			1	
Sobrecargas	Casas de 1 piso	Casas de 2 pisos	Casas de 3 pisos	Casas de 4 pisos	
	$w = 10 \text{ kN/m}^2$	$w = 20 \text{ kN/m}^2$	$w = 30 \text{ kN/m}^2$	$w = 40 \text{ kN/m}^2$	
	$f_{ah}$ (según figura 5)				
Deforestación	Nula	Leve	Media	Alta	Total
	0% área	25% área	50% área	75% área	100% área
	0	0.25	0.50	0.75	1
$w =$ Presión sobre el terreno					

Fuente: [10]

**Figura 5.** Factores de valuación por sobrecargas.



Fuente: [10]

### 3. FACTORES PARA EVALUAR EL CÁLCULO DE LA ESTABILIDAD [10]

Los resultados del análisis cuantitativo de estabilidad de una ladera incluyen, en la mayoría de los casos, el cálculo del factor de seguridad contra el deslizamiento y la ubicación de la superficie probable de rotura. Estos datos no son factores propiamente dichos que incidan en la estabilidad de la ladera pero se toman en cuenta para obtener los *factores de valuación de estabilidad* ( $f_e$ ), en función de la profundidad de la superficie de rotura (superficial, somera, profunda y muy profunda) y del valor del factor de seguridad obtenido en los cálculos. En la Tabla 9 se presentan los factores de valuación de estabilidad.

**Tabla 9.** Factor de valuación de estabilidad.

Características del análisis de estabilidad	Factor de valuación de estabilidad ( $f_e$ )			
	Superficial	Somera	Profunda	Muy profunda
Superficie de rotura	< 1.5 m	1.5 - 5 m	5 - 12.5 m	12.5 - 20 m
	0.25	0.50	0.75	1
	Inestable	Estabilidad crítica		Estable
Factor de seguridad ( $F_s$ )	$F_s < 1$	$F_s : 1 - 1.5$		$F_s > 1.5$
	1	0.75		0

Fuente: [10]

#### 4. INTERVALOS DE INFLUENCIA DE LOS FACTORES DE VALUACION

De acuerdo a los valores de los diferentes factores de valuación estos se encuentran en un rango entre 0 y 1, el factor tendrá un valor de 0 cuando su impacto sobre la estabilidad de la ladera es mínimo y un valor de 1 para un impacto significativo. De acuerdo a lo anterior la metodología establece unos intervalos de influencia aplicable a los diferentes factores evaluados. En la Tabla 10 se muestran estos intervalos.

**Tabla 10.** Intervalos y nivel de influencia de los factores de valuación.

Factor de valuación	Nivel de influencia	Consideraciones
< 0.5	Bajo	No tiene problemas
0.5 - 0.75	Medio	Requiere atención
> 0.75	Alto	Atención urgente

Fuente: [10]



Posteriormente se utiliza la matriz de la Tabla 11 para seleccionar los procesos constructivos más adecuados de acuerdo al tipo de problema que se desea mitigar y los objetivos que se pretenden con los mismo (Cuanalo, 2004). De acuerdo a lo anterior se elabora la Tabla 12.

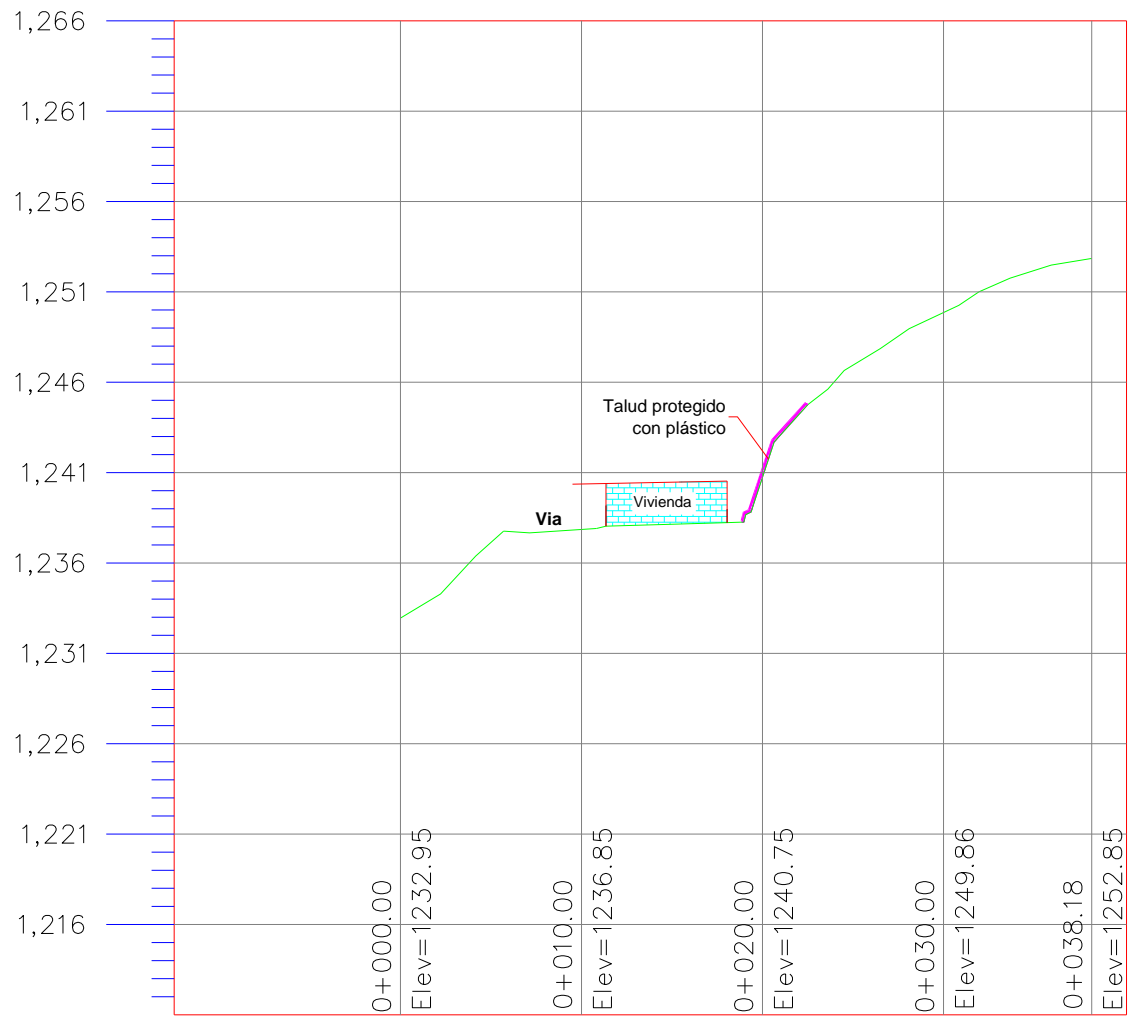
**Tabla 12.** Factores que producen inestabilidad y procesos constructivos más adecuados.

Tipo de problema	Procesos constructivos aplicables	Objetivos que se persiguen
Morfológico	Rectificación geométrica	Disminuir las fuerzas actuantes
Geológico	Elementos de refuerzo, mallas metálicas	Aumentar las fuerzas resistentes
Mecánica de suelos	Elementos de drenaje, elementos de refuerzo y protección superficial.	Disminuir la presión de poro, aumentar resistencia y evitar erosión.
Hidrológico	Elementos de drenaje y protección superficial	Disminuir la saturación del suelo y reducir la meteorización
Vegetación	Protección superficial	Evitar erosión y reforzar el suelo
Lluvia	Elementos de drenaje	Disminuir presión de poro, evitar la saturación y la erosión.
Terremotos	Elementos de refuerzo y muros de contención	Aumentar la resistencia y contener el material potencialmente inestable
Erosión	Elementos de drenaje, muros de contención y protección superficial	Evitar la erosión y proteger el pie de la ladera
Actividad Humana	Elementos de refuerzo, muros contención y protección superficial	Aumentar la resistencia contener el material potencialmente inestable y reforestar
Superficie de Rotura	Rectificación geométrica elementos de refuerzo y muros de contención	Modificar la ubicación
Factor de seguridad	Rectificación geométrica elementos de refuerzo y muros de contención	Aumentar su valor

Fuente: (Cuanalo, 2004)

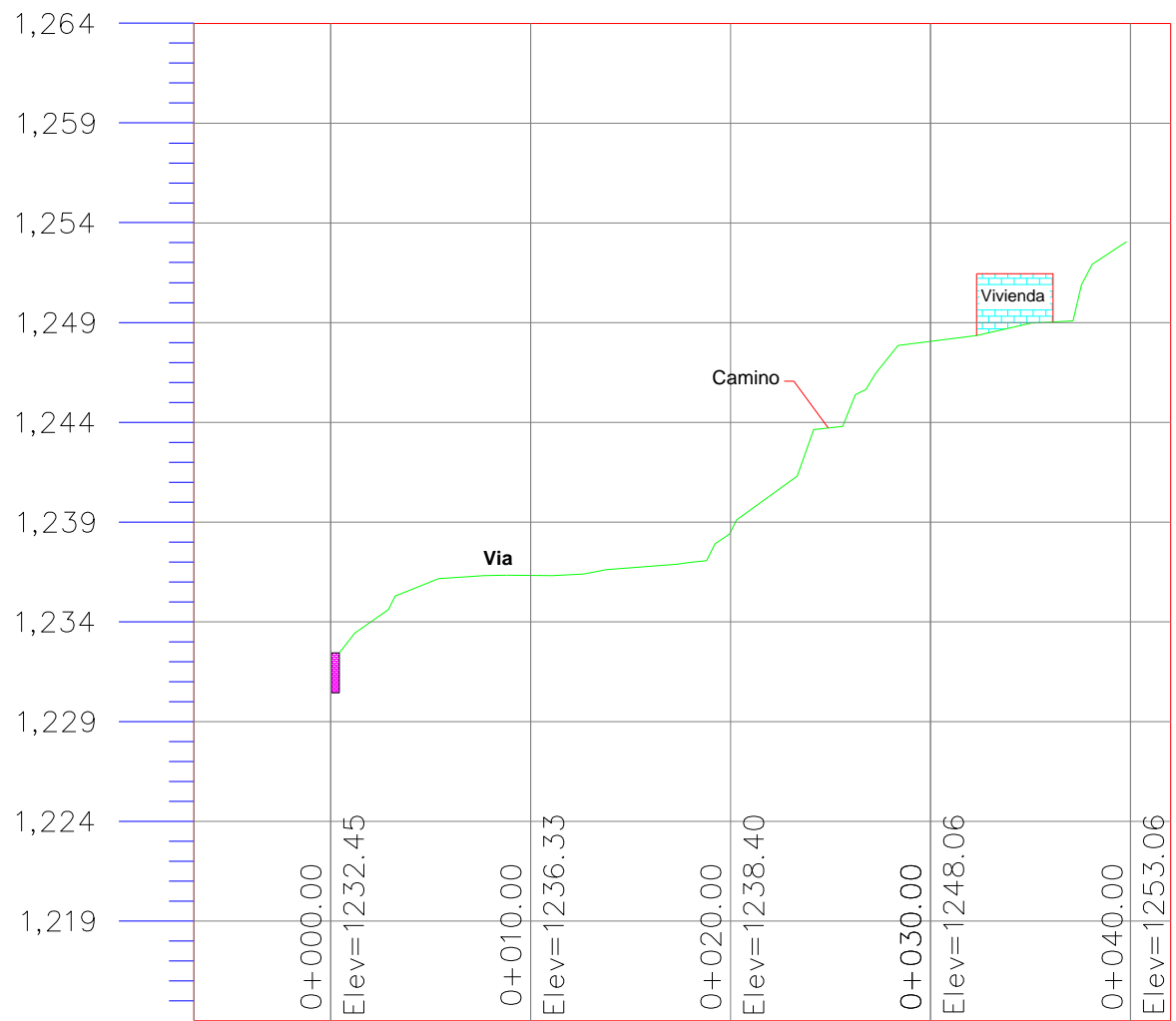
## **Anexo B. Información topográfica**

**Figura 6.** Sección transversal 4 del sector de estudio.



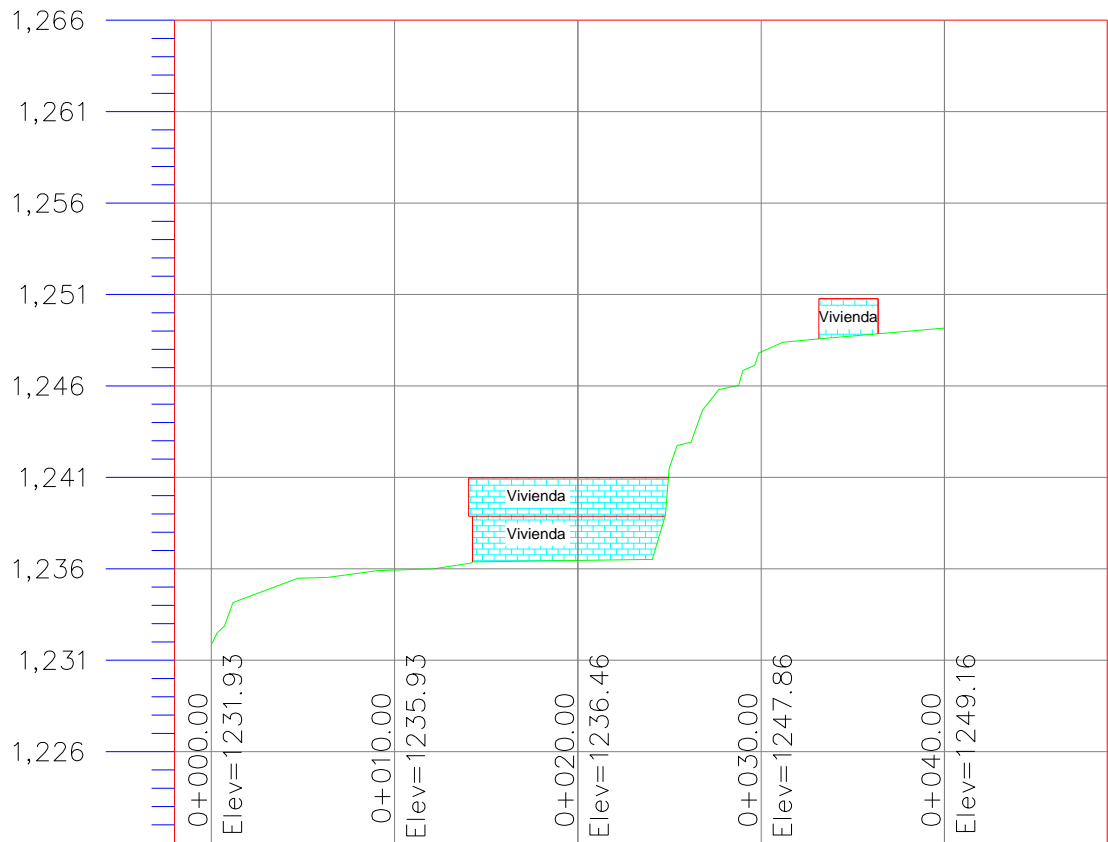
Fuente: Autor.

**Figura 7.** Sección transversal 5 del sector de estudio.



Fuente: Autor.

**Figura 8.** Sección transversal 6 del sector de estudio.



Fuente: Autor

**Tabla 13. Coordenadas Levantamiento Topográfico.**

<b>LISTADO COORDENADAS</b>				
<b>Proyecto:</b> Análisis mediante Factores de Valuación sector Ladera sur barrio San Fermín-Ocaña.				
<b>Estación</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Cota</b>	<b>Desc.</b>
1	1401789.00	1079077.00	1232.00	D1
2	1401540.92	1078973.52	1235.19	D2
3	1401545.36	1078932.31	1236.76	D3
4	1401515.08	1078985.60	1238.59	Cor_CAN
5	1401515.94	1078988.28	1237.30	F_CAN
6	1401494.98	1078979.81	1248.48	Cor_CAN
7	1401495.09	1078982.47	1246.11	F_CAN
8	1401472.16	1078979.64	1253.89	F_CAN
9	1401473.77	1078977.11	1256.33	PNIV
10	1401474.63	1078973.62	1258.07	TUB
11	1401474.86	1078971.35	1259.09	CAJA
12	1401458.53	1078973.69	1261.62	F_CAN
13	1401463.98	1078967.90	1265.19	Cor_CAN
14	1401456.05	1078959.92	1274.67	MT
15	1401449.51	1078953.65	1280.43	MT
16	1401460.77	1078946.66	1282.17	MT
17	1401465.14	1078954.45	1275.83	MT
18	1401475.37	1078942.34	1277.24	MT
19	1401466.98	1078938.03	1282.48	MT
20	1401476.22	1078928.46	1276.15	MT
21	1401468.11	1078928.95	1282.63	MT
22	1401457.63	1078927.84	1288.46	CRK
23	1401449.73	1078926.16	1294.02	MT
24	1401454.15	1078938.44	1287.98	MT
25	1401443.05	1078932.93	1293.65	MT
26	1401438.28	1078937.36	1292.36	MT
27	1401450.75	1078945.70	1285.71	MT
28	1401445.41	1078948.56	1284.56	CRK
29	1401450.17	1078915.32	1292.78	PNIV
30	1401457.56	1078914.90	1287.57	PNIV
31	1401446.21	1078904.80	1291.58	PNIV
32	1401454.61	1078903.58	1287.66	PNIV
33	1401447.19	1078895.91	1285.23	PNIV
34	1401457.43	1078895.13	1282.54	PNIV
35	1401465.42	1078898.71	1281.27	CRK
36	1401465.92	1078906.29	1280.84	CRK
37	1401473.52	1078904.98	1278.55	CRK
38	1401472.64	1078897.84	1278.38	CRK
39	1401471.96	1078899.85	1278.56	TANQUE
40	1401472.59	1078904.26	1278.78	TANQUE
41	1401466.84	1078905.15	1280.00	TANQUE
42	1401466.58	1078900.62	1280.35	TANQUE

<b>LISTADO COORDENADAS</b>				
<b>Proyecto:</b> Análisis mediante Factores de Valuación sector Ladera sur barrio San Fermín-Ocaña.				
<b>Estación</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Cota</b>	<b>Desc.</b>
43	1401471.91	1078899.76	1278.57	TANQUE
44	1401470.42	1078899.97	1279.16	TANQUE
45	1401471.75	1078898.67	1278.55	TANQUE
46	1401470.24	1078898.72	1279.03	TANQUE
47	1401468.92	1078910.31	1279.74	PT
48	1401468.94	1078910.04	1279.88	CANAL
49	1401466.95	1078909.45	1281.89	COR
50	1401469.22	1078909.79	1279.91	CANAL
51	1401464.45	1078905.71	1280.89	PT
52	1401463.99	1078906.48	1283.11	COR
53	1401464.42	1078905.80	1280.92	CANAL
54	1401464.73	1078905.48	1280.91	CANAL
55	1401464.36	1078899.30	1281.12	CANAL
56	1401464.66	1078899.35	1281.11	CANAL
57	1401463.49	1078898.83	1282.98	COR
58	1401464.27	1078898.43	1281.15	PT
59	1401464.52	1078898.42	1281.07	CANAL
60	1401464.92	1078898.53	1281.08	CANAL
61	1401466.65	1078895.24	1280.79	CANAL
62	1401466.93	1078895.62	1280.78	CANAL
63	1401465.24	1078892.90	1279.00	PNIV
64	1401471.84	1078887.86	1275.73	COR
65	1401483.25	1078885.56	1270.84	PNIV
66	1401489.28	1078887.24	1268.66	PT
67	1401488.28	1078888.82	1270.37	COR
68	1401493.01	1078888.86	1267.06	CULATA
69	1401497.85	1078889.81	1266.41	PMTO
70	1401497.76	1078892.52	1266.57	PMTO
71	1401495.44	1078902.73	1266.72	PMTO
72	1401492.21	1078901.28	1267.26	CULATA
73	1401488.54	1078899.55	1271.40	COR
74	1401491.93	1078901.12	1267.43	PT
75	1401486.39	1078908.97	1269.56	COR
76	1401488.55	1078912.26	1267.31	PT
77	1401485.63	1078929.26	1268.23	PT
78	1401480.46	1078931.37	1273.00	COR
79	1401482.87	1078942.92	1271.06	CULATA
80	1401482.38	1078942.65	1271.24	PT
81	1401480.88	1078941.83	1274.30	COR
82	1401477.08	1078949.26	1273.97	COR
83	1401478.35	1078949.22	1271.50	PT
84	1401478.65	1078949.76	1271.42	CULATA

<b>LISTADO COORDENADAS</b>				
<b>Proyecto:</b> Análisis mediante Factores de Valuación sector Ladera sur barrio San Fermín-Ocaña.				
<b>Estación</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Cota</b>	<b>Desc.</b>
85	1401482.12	1078952.22	1270.72	PMTO
86	1401481.35	1078955.55	1266.10	COR
87	1401457.21	1078966.69	1268.75	COR
88	1401458.06	1078971.57	1263.99	PT
89	1401487.03	1078963.76	1260.65	TUB
90	1401491.27	1078969.06	1255.91	COR
91	1401496.54	1078955.19	1259.92	TUB
92	1401500.16	1078960.34	1257.56	COR
93	1401502.12	1078950.86	1258.74	TUB
94	1401508.12	1078953.37	1256.90	COR
95	1401508.73	1078946.97	1257.65	COR
96	1401501.53	1078936.67	1259.37	TUB
97	1401509.05	1078933.22	1255.78	COR
98	1401499.55	1078924.63	1258.48	CAJA
99	1401501.20	1078914.04	1259.27	TUB
100	1401503.92	1078919.65	1258.23	COR
101	1401513.01	1078922.14	1253.12	PT
102	1401512.48	1078903.31	1258.40	COR
103	1401516.41	1078904.96	1253.08	PT
104	1401507.66	1078901.00	1259.58	TUB
105	1401513.50	1078894.61	1258.66	COR
106	1401496.78	1078883.54	1258.81	TUB
107	1401514.69	1078908.47	1253.17	CULATA
108	1401518.78	1078898.18	1253.19	PT
109	1401521.13	1078911.47	1252.93	CULATA
110	1401519.53	1078898.35	1252.81	PMTO
111	1401525.47	1078901.87	1252.68	PMTO
112	1401531.32	1078907.55	1248.68	PMTO
113	1401529.62	1078913.11	1248.86	PMTO
114	1401488.16	1078873.62	1260.06	PMTO
115	1401502.15	1078875.87	1259.40	PMTO
116	1401502.26	1078875.94	1259.45	PMTO
117	1401508.08	1078877.76	1258.80	PMTO
118	1401508.91	1078876.85	1258.61	CULATA
119	1401513.21	1078879.33	1258.03	PMTO
120	1401526.64	1078912.61	1249.61	CULATA
121	1401516.40	1078885.92	1257.25	CULATA
122	1401511.43	1078888.96	1258.48	CULATA
123	1401527.84	1078905.93	1249.05	PMTO
124	1401518.71	1078889.00	1256.43	PMTO
125	1401520.52	1078917.16	1251.99	COR
126	1401522.31	1078918.07	1249.34	PT

<b>LISTADO COORDENADAS</b>				
<b>Proyecto:</b> Análisis mediante Factores de Valuación sector Ladera sur barrio San Fermín-Ocaña.				
<b>Estación</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Cota</b>	<b>Desc.</b>
127	1401520.89	1078924.12	1247.17	PMTO
128	1401523.66	1078916.50	1247.15	CULATA
129	1401526.74	1078925.47	1244.45	PMTO
130	1401521.52	1078932.79	1247.37	PT
131	1401520.16	1078932.78	1250.16	COR
132	1401516.74	1078936.25	1252.10	PMTO
133	1401517.56	1078944.64	1252.46	PMTO
134	1401512.49	1078945.22	1252.52	CULATA
135	1401511.38	1078947.97	1252.43	PT
136	1401511.23	1078934.02	1252.42	CULATA
137	1401512.82	1078958.07	1251.17	COR
138	1401513.37	1078958.39	1248.94	PT
139	1401499.76	1078967.84	1249.77	PT
140	1401499.75	1078975.02	1248.66	PNIV
141	1401501.85	1078966.65	1250.18	CULATA
142	1401510.42	1078977.78	1244.22	MT
143	1401508.22	1078960.91	1251.00	CULATA
144	1401517.84	1078979.37	1239.49	MT
145	1401513.20	1078966.32	1249.20	PMTO
146	1401522.05	1078970.04	1242.00	COR
147	1401519.46	1078967.94	1244.66	MT
148	1401518.04	1078965.88	1247.65	COR
149	1401514.22	1078960.26	1248.83	CULATA
150	1401516.96	1078961.65	1248.62	PMTO
151	1401521.51	1078953.48	1248.71	PMTO
152	1401524.90	1078954.76	1248.08	COR
153	1401528.80	1078955.86	1244.02	COR
154	1401516.76	1078953.22	1249.25	CULATA
155	1401525.12	1078941.59	1249.20	MT
156	1401530.37	1078939.72	1245.56	COR
157	1401530.05	1078936.69	1246.15	COR_Muro
158	1401528.21	1078928.49	1246.16	COR_Muro
159	1401530.23	1078936.55	1244.77	Muro
160	1401528.38	1078928.74	1243.88	Muro
161	1401530.74	1078916.46	1246.55	CULATA
162	1401532.11	1078916.81	1245.80	COR
163	1401535.88	1078926.16	1239.65	CULATA
164	1401539.33	1078916.63	1239.74	CULATA
165	1401529.47	1078913.11	1248.84	CULATA
166	1401531.67	1078913.89	1248.01	COR
167	1401531.89	1078914.03	1247.14	PNIV
168	1401536.75	1078920.19	1240.05	PT

**LISTADO COORDENADAS****Proyecto:** Análisis mediante Factores de Valuación sector Ladera sur  
barrio San Fermín-Ocaña.

<b>Estación</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Cota</b>	<b>Desc.</b>
169	1401540.73	1078916.90	1239.52	CULATA
170	1401533.03	1078907.44	1248.26	COR
171	1401533.72	1078907.37	1246.28	PNIV
172	1401541.00	1078909.51	1240.33	PT
173	1401531.92	1078898.99	1250.17	CULATA
174	1401536.99	1078899.01	1247.35	COR
175	1401543.74	1078904.20	1238.19	CULATA
176	1401539.49	1078894.94	1246.59	COR
177	1401538.71	1078903.02	1241.24	PT
178	1401543.33	1078896.23	1240.55	PT
179	1401536.21	1078890.08	1250.24	CULATA
180	1401535.93	1078889.59	1250.34	CULATA
181	1401543.03	1078903.69	1239.01	CULATA
182	1401546.80	1078896.43	1239.02	CULATA
183	1401537.88	1078885.95	1249.47	CULATA
184	1401538.20	1078883.84	1249.63	CULATA
185	1401541.19	1078880.36	1249.30	CULATA
186	1401542.10	1078880.82	1248.48	COR
187	1401548.46	1078884.60	1243.77	MT
188	1401548.52	1078882.54	1244.15	COR
189	1401553.76	1078886.31	1238.40	CULATA
190	1401552.56	1078885.54	1238.50	PT
191	1401549.91	1078872.73	1244.98	CULATA
192	1401545.09	1078881.27	1246.58	CULATA
193	1401558.13	1078878.28	1237.89	CULATA
194	1401548.72	1078892.88	1241.25	COR
195	1401550.97	1078887.77	1241.65	COR
196	1401551.71	1078895.48	1238.27	PT
197	1401554.65	1078889.36	1238.31	PT
198	1401552.29	1078875.22	1243.49	CULATA
199	1401555.37	1078875.41	1241.97	COR
200	1401556.99	1078876.44	1238.77	PT
201	1401556.27	1078871.72	1242.74	CULATA
202	1401556.92	1078873.67	1238.86	CULATA
203	1401557.67	1078869.28	1242.36	COR
204	1401553.89	1078867.21	1243.74	CULATA
205	1401558.57	1078870.00	1239.61	CULATA
206	1401558.88	1078864.08	1242.49	CULATA
207	1401563.73	1078858.55	1242.06	COR
208	1401564.38	1078858.90	1239.49	PT
209	1401561.93	1078864.65	1240.88	CULATA
210	1401563.42	1078860.73	1239.12	CULATA

<b>LISTADO COORDENADAS</b>				
<b>Proyecto:</b> Análisis mediante Factores de Valuación sector Ladera sur barrio San Fermín-Ocaña.				
<b>Estación</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Cota</b>	<b>Desc.</b>
211	1401564.35	1078858.11	1241.90	PMTO
212	1401536.49	1078928.95	1239.68	PMTO
213	1401523.17	1078977.41	1236.56	CULATA
214	1401534.66	1078937.75	1241.49	CULATA
215	1401531.04	1078937.23	1241.54	CULATA
216	1401527.56	1078961.79	1239.08	CULATA
217	1401535.54	1078957.24	1237.30	CULATA
218	1401536.17	1078954.01	1237.81	CULATA
219	1401528.89	1078954.52	1244.42	KMINO
220	1401527.82	1078954.40	1244.41	KMINO
221	1401534.66	1078953.68	1239.76	CULATA
222	1401527.96	1078953.55	1244.99	COR
223	1401527.68	1078957.88	1243.80	KMINO
224	1401528.78	1078958.22	1243.47	KMINO
225	1401526.69	1078960.59	1242.34	KMINO
226	1401527.65	1078960.33	1242.35	KMINO
227	1401526.29	1078961.51	1242.07	KMINO
228	1401527.47	1078961.54	1241.73	KMINO
229	1401527.46	1078960.74	1241.79	KMINO
230	1401528.85	1078960.00	1240.97	KMINO
231	1401529.45	1078961.09	1240.81	KMINO
232	1401529.46	1078958.06	1241.00	KMINO
233	1401530.08	1078958.24	1240.62	KMINO
234	1401529.78	1078959.27	1240.65	KMINO
235	1401533.54	1078958.38	1237.99	KMINO
236	1401533.81	1078957.48	1238.09	KMINO
237	1401536.42	1078928.88	1239.67	CULATA
238	1401528.19	1078927.97	1243.33	PMTO
239	1401530.65	1078980.11	1235.26	PMTO
240	1401533.93	1078971.84	1235.33	PMTO
241	1401534.01	1078971.69	1236.24	PMTO
242	1401526.04	1078991.97	1235.12	PMTO
243	1401527.23	1078988.99	1235.23	PMTO
244	1401517.89	1078988.33	1236.45	CULATA
245	1401528.08	1078992.98	1234.79	CRK
246	1401530.89	1078992.66	1233.72	BV
247	1401534.80	1078991.18	1233.65	BV
248	1401534.94	1078990.27	1232.67	POZO
249	1401530.66	1078987.35	1233.94	BV
250	1401531.85	1078981.65	1234.37	CRK
251	1401534.80	1078988.18	1233.75	BV
252	1401532.57	1078988.74	1233.88	EJE

<b>LISTADO COORDENADAS</b>				
<b>Proyecto:</b> Análisis mediante Factores de Valuación sector Ladera sur barrio San Fermín-Ocaña.				
<b>Estación</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Cota</b>	<b>Desc.</b>
253	1401535.09	1078981.50	1234.38	EJE
254	1401532.75	1078981.00	1234.31	BV
255	1401536.76	1078982.15	1234.32	BV
256	1401536.09	1078972.42	1235.43	BV
257	1401538.04	1078973.05	1235.30	EJE
258	1401537.19	1078963.53	1236.53	PMTO
259	1401542.88	1078965.63	1235.91	BV
260	1401539.27	1078964.06	1236.28	BV
261	1401541.26	1078964.76	1236.06	EJE
262	1401544.53	1078966.80	1235.10	PMTO
263	1401548.08	1078968.59	1233.16	CULATA
264	1401541.58	1078990.77	1231.43	BV
265	1401537.71	1078988.35	1231.73	BV
266	1401542.80	1078984.09	1229.78	BV
267	1401545.64	1078987.81	1229.60	BV
268	1401554.88	1078983.71	1226.80	BV
269	1401554.36	1078980.86	1226.90	BV
270	1401568.17	1078969.44	1224.84	POZO
271	1401546.60	1078962.89	1235.59	PMTO
272	1401539.96	1078954.72	1237.02	PMTO
273	1401552.29	1078958.01	1232.93	CULATA
274	1401545.37	1078956.96	1236.84	PMTO
275	1401540.64	1078951.45	1237.92	PMTO
276	1401542.07	1078949.49	1237.00	BV
277	1401545.52	1078950.28	1236.77	BV
278	1401543.65	1078949.68	1236.90	EJE
279	1401546.60	1078950.34	1236.77	PMTO
280	1401545.76	1078946.15	1236.66	GRADA
281	1401546.58	1078945.50	1236.59	GRADA
282	1401546.89	1078945.97	1236.25	CRK
283	1401545.50	1078945.36	1236.88	BV
284	1401543.92	1078945.20	1237.02	EJE
285	1401542.59	1078944.94	1237.07	BV
286	1401540.70	1078947.40	1237.71	PMTO
287	1401541.35	1078946.05	1237.44	PMTO
288	1401542.25	1078938.77	1237.18	PMTO
289	1401548.81	1078933.78	1236.95	CRK
290	1401548.80	1078933.62	1236.89	PMTO
291	1401545.46	1078930.42	1236.73	BV
292	1401548.60	1078931.12	1236.76	BV
293	1401547.02	1078930.82	1236.70	EJE
294	1401545.73	1078928.83	1236.54	BV

<b>LISTADO COORDENADAS</b>				
<b>Proyecto:</b> Análisis mediante Factores de Valuación sector Ladera sur barrio San Fermín-Ocaña.				
<b>Estación</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Cota</b>	<b>Desc.</b>
295	1401544.82	1078928.56	1236.76	PMTO
296	1401546.00	1078930.14	1236.78	D4
297	1401544.25	1078930.73	1236.81	PMTO
298	1401540.68	1078930.46	1237.52	PMTO
299	1401540.77	1078929.55	1237.90	PMTO
300	1401549.85	1078929.33	1236.76	PMTO
301	1401517.68	1078926.51	1249.21	GRADA
302	1401517.94	1078925.03	1249.24	GRADA
303	1401526.48	1078925.91	1244.28	GRADA
304	1401526.36	1078927.08	1244.26	GRADA
305	1401531.22	1078926.44	1241.82	GRADA
306	1401531.17	1078927.84	1241.70	GRADA
307	1401535.68	1078926.82	1239.96	GRADA
308	1401535.50	1078928.38	1239.99	GRADA
309	1401544.50	1078928.88	1236.95	GRADA
310	1401544.26	1078929.88	1236.83	GRADA
311	1401544.82	1078928.56	1236.80	PMTO
312	1401553.34	1078951.99	1232.34	PMTO
313	1401553.35	1078951.38	1232.42	GRADA
314	1401553.64	1078949.45	1232.22	GRADA
315	1401547.10	1078918.69	1237.06	PMTO
316	1401549.82	1078929.28	1236.77	PMTO
317	1401550.58	1078926.68	1236.85	PMTO
318	1401548.12	1078918.78	1236.72	BV
319	1401552.25	1078920.41	1236.84	PMTO
320	1401550.16	1078919.63	1236.69	EJE
321	1401551.56	1078920.20	1236.74	BV
322	1401551.88	1078919.94	1236.73	GRADA
323	1401552.57	1078918.24	1236.82	GRADA
324	1401552.77	1078917.76	1236.83	PMTO
325	1401550.08	1078905.45	1236.92	PMTO
326	1401554.85	1078910.65	1236.78	PMTO
327	1401551.44	1078898.16	1237.26	PMTO
328	1401553.15	1078898.39	1236.89	BV
329	1401556.80	1078898.80	1236.63	BV
330	1401554.65	1078898.40	1236.80	EJE
331	1401554.53	1078894.91	1236.89	D5
332	1401556.18	1078910.54	1236.75	COR_Muro
333	1401556.26	1078910.52	1233.83	Muro
334	1401563.42	1078923.44	1230.13	PMTO
335	1401563.04	1078923.05	1230.17	GRADA
336	1401563.49	1078921.11	1229.77	GRADA

<b>LISTADO COORDENADAS</b>				
<b>Proyecto:</b> Análisis mediante Factores de Valuación sector Ladera sur barrio San Fermín-Ocaña.				
<b>Estación</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Cota</b>	<b>Desc.</b>
337	1401558.48	1078910.71	1236.74	CULATA
338	1401557.60	1078896.80	1236.69	COR_Muro
339	1401557.61	1078896.83	1235.06	Muro
340	1401560.69	1078890.55	1236.58	GRADA
341	1401561.85	1078891.05	1236.58	GRADA
342	1401558.15	1078895.78	1235.22	GRADA
343	1401560.03	1078894.72	1234.87	GRADA
344	1401559.21	1078896.11	1234.89	GRADA
345	1401560.10	1078894.58	1235.52	GRADA
346	1401559.03	1078894.04	1235.61	GRADA
347	1401565.97	1078898.64	1233.66	CULATA
348	1401566.01	1078897.96	1232.15	GRADA
349	1401566.39	1078896.46	1232.12	GRADA
350	1401585.42	1078901.51	1224.10	GRADA
351	1401584.95	1078903.04	1224.11	GRADA
352	1401556.17	1078887.78	1237.35	PMTO
353	1401556.98	1078888.25	1237.01	BV
354	1401560.24	1078889.74	1236.65	BV
355	1401558.85	1078889.17	1236.92	EJE
356	1401561.05	1078879.95	1237.30	PMTO
357	1401568.01	1078875.82	1237.30	COR
358	1401570.48	1078871.36	1237.26	COR
359	1401563.27	1078876.86	1237.26	PMTO
360	1401564.85	1078873.67	1237.66	PMTO
361	1401572.34	1078870.56	1235.94	PT
362	1401568.14	1078867.50	1238.16	PMTO
363	1401569.48	1078876.15	1235.62	PT
364	1401569.07	1078867.83	1237.37	BV
365	1401571.64	1078868.74	1237.24	BV
366	1401569.33	1078878.60	1235.34	CULATA
367	1401570.13	1078868.48	1237.42	EJE
368	1401572.10	1078872.29	1235.10	PMTO
369	1401572.55	1078867.76	1237.15	Rampa
370	1401572.87	1078866.74	1234.75	Rampa
371	1401578.92	1078868.52	1234.39	PMTO
372	1401572.82	1078867.05	1237.15	Rampa
373	1401577.59	1078868.94	1235.30	Rampa
374	1401577.42	1078869.64	1235.27	Rampa
375	1401578.94	1078868.46	1234.39	PMTO
376	1401570.46	1078864.05	1237.72	CULATA
377	1401576.15	1078862.02	1237.49	COR
378	1401579.23	1078856.03	1237.80	COR

<b>LISTADO COORDENADAS</b>				
<b>Proyecto:</b> Análisis mediante Factores de Valuación sector Ladera sur barrio San Fermín-Ocaña.				
<b>Estación</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Cota</b>	<b>Desc.</b>
379	1401580.08	1078856.22	1237.95	CULATA
380	1401580.07	1078856.35	1236.42	PT
381	1401582.03	1078848.88	1237.71	D5
382	1401539.77	1078951.12	1238.59	PMTO
383	1401580.09	1078856.23	1237.94	Malla
384	1401578.61	1078866.70	1234.48	PT
385	1401583.81	1078848.90	1237.77	Malla
386	1401584.89	1078847.82	1237.24	Malla
387	1401582.89	1078847.76	1237.65	CRK
388	1401583.24	1078847.40	1237.59	Rampa
389	1401584.04	1078847.78	1237.45	Rampa
390	1401584.77	1078845.59	1237.16	Rampa
391	1401584.84	1078847.16	1237.05	Rampa
392	1401592.78	1078847.22	1233.57	Rampa
393	1401592.46	1078848.83	1233.71	Rampa
394	1401571.97	1078861.37	1237.66	CULATA
395	1401573.78	1078855.06	1238.07	CULATA
396	1401574.00	1078851.76	1238.54	CULATA
397	1401580.67	1078852.90	1237.85	BV
398	1401576.10	1078852.09	1238.23	BV
399	1401578.14	1078852.57	1237.95	EJE
400	1401577.92	1078850.80	1238.06	EJE
401	1401579.96	1078849.36	1237.88	BV
402	1401575.62	1078850.37	1238.40	BV
403	1401576.83	1078846.84	1238.61	BV
404	1401576.07	1078848.68	1238.45	EJE
405	1401577.10	1078846.53	1238.78	CRK
406	1401571.52	1078844.67	1239.75	CRK
407	1401569.30	1078850.72	1240.18	PMTO
408	1401569.42	1078849.96	1240.05	BV
409	1401569.00	1078848.45	1239.96	EJE
410	1401568.47	1078846.61	1240.08	BV
411	1401566.38	1078847.54	1240.29	CRK
412	1401562.36	1078850.30	1241.43	D7
413	1401571.71	1078844.67	1239.74	CRK
414	1401568.84	1078852.09	1240.36	PMTO
415	1401568.32	1078851.99	1240.45	PMTO
416	1401568.01	1078852.69	1240.67	PMTO
417	1401567.49	1078852.52	1240.84	PMTO
418	1401571.85	1078845.24	1239.65	BV
419	1401571.68	1078849.59	1239.43	BV
420	1401571.54	1078847.27	1239.55	EJE

<b>LISTADO COORDENADAS</b>				
<b>Proyecto:</b> Análisis mediante Factores de Valuación sector Ladera sur barrio San Fermín-Ocaña.				
<b>Estación</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Cota</b>	<b>Desc.</b>
421	1401566.89	1078851.17	1240.66	BV
422	1401565.11	1078848.83	1240.99	BV
423	1401565.86	1078849.96	1240.81	EJE
424	1401563.00	1078855.57	1241.94	BV
425	1401560.84	1078852.81	1242.04	BV
426	1401561.93	1078854.18	1242.00	EJE
427	1401560.62	1078852.41	1241.29	PT
428	1401560.10	1078850.15	1241.28	COR
429	1401553.83	1078853.79	1239.98	PT
430	1401552.27	1078851.69	1239.82	COR
431	1401556.85	1078860.70	1243.59	PMTO
432	1401555.97	1078859.41	1243.39	BV
433	1401554.37	1078856.95	1243.59	BV
434	1401555.17	1078858.18	1243.55	EJE
435	1401552.47	1078863.38	1244.68	PMTO
436	1401552.10	1078862.95	1244.67	PMTO
437	1401549.54	1078864.70	1244.74	PMTO
438	1401546.41	1078866.83	1246.62	PMTO
439	1401542.83	1078863.64	1246.28	BV
440	1401545.32	1078865.99	1246.21	BV
441	1401544.18	1078865.04	1246.31	EJE
442	1401546.59	1078866.70	1245.39	PNIV
443	1401541.20	1078866.27	1246.92	D8
444	1401546.19	1078867.29	1247.02	PMTO
445	1401542.90	1078869.90	1247.43	PMTO
446	1401540.88	1078872.88	1247.77	PMTO
447	1401540.67	1078873.37	1247.83	PMTO
448	1401539.49	1078875.66	1247.97	PMTO
449	1401538.34	1078874.69	1248.43	BV
450	1401536.04	1078873.39	1248.54	BV
451	1401537.16	1078873.98	1248.60	EJE
452	1401536.18	1078870.42	1248.53	PMTO
453	1401538.36	1078877.66	1249.41	PMTO
454	1401531.25	1078867.54	1249.36	CULATA
455	1401535.70	1078882.13	1249.99	PMTO
456	1401531.19	1078879.48	1250.16	PMTO
457	1401534.30	1078884.27	1250.23	PMTO
458	1401532.43	1078887.53	1250.51	PMTO
459	1401529.03	1078882.97	1250.56	PMTO
460	1401530.00	1078883.97	1250.64	BV
461	1401532.53	1078885.29	1250.41	BV



Fuente: Autor


<b>LISTADO COORDENADAS</b>				
<b>Proyecto:</b> Análisis mediante Factores de Valuación sector Ladera sur barrio San Fermín-Ocaña.				
<b>Estación</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Cota</b>	<b>Desc.</b>
462	1401531.38	1078884.75	1250.46	EJE
463	1401527.88	1078886.22	1251.01	CRK
464	1401532.01	1078888.44	1250.58	PMTO
465	1401524.13	1078893.41	1252.21	CRK
466	1401530.08	1078892.37	1250.93	PMTO
467	1401522.17	1078897.60	1252.63	BV
468	1401527.72	1078896.88	1251.13	PMTO
469	1401525.54	1078899.56	1252.29	PNIV
470	1401526.62	1078897.72	1251.96	PNIV
471	1401526.80	1078897.64	1251.22	PNIV
472	1401526.71	1078895.42	1251.16	PNIV
473	1401526.25	1078895.08	1251.83	PNIV
474	1401527.68	1078891.11	1251.09	EJE

Fuente: Autor.


## **Anexo C. Análisis de núcleos sondeos 1 y 2**

**Tabla 14. Detalles sondeo No. 1**


<b>CALCULO DE RQD</b> <b>MATERIAL BARRENA SONDEO #1</b> <b>PARTE BAJA TALUDES CRÍTICOS</b> <b>BARRIO SAN FERMIN, OCAÑA, N.S.</b>		
<b>Trabajo Aplicado - Maestría en Geotecnia</b> <b>Universidad Industrial de Santander - UIS</b>		
Fecha: Junio 24 de 2013. Sondeo: #1 - PERFIL 3 Prof: 4.0 m (2 m SPT y 2 m Barrena)		
<b>Material obtenido</b> <b>con cuchara partida (0.0m a 2m) y barrena de 2m a 4m</b>		
Long. Frag. (cm)	Tramo de 0.0 m a 2 m	
0.0	0.0 m a 2.0 m	Materiales comuestos por arenas-limos y arcillas. No se evidencian estructuras heredadas. (Suelo Residual)Horizonte IB*
7.5	2 m a 3 m	Se aprecia la roca completamente alterada. Hay presencia de estructuras heredadas con espaciamientos inferiores a 10 cm. (Saprolito) Horizonte IC*
9.0		
9.5		
7.5		
5.0		
7.5	3 m a 4 m	Se aprecia la roca completamente alterada. Hay presencia de estructuras heredadas con espaciamientos inferiores a 10 cm. (Saprolito) Horizonte IC*
8.0		
3.0		
6.5		
10.5		
6.5		
3.5		
10.0		
4.0		
* Perfil de Meteorización de Deere y Patton (1971)		
<b>RQD</b> 10.25		
 		




2 m




2 m



3 m



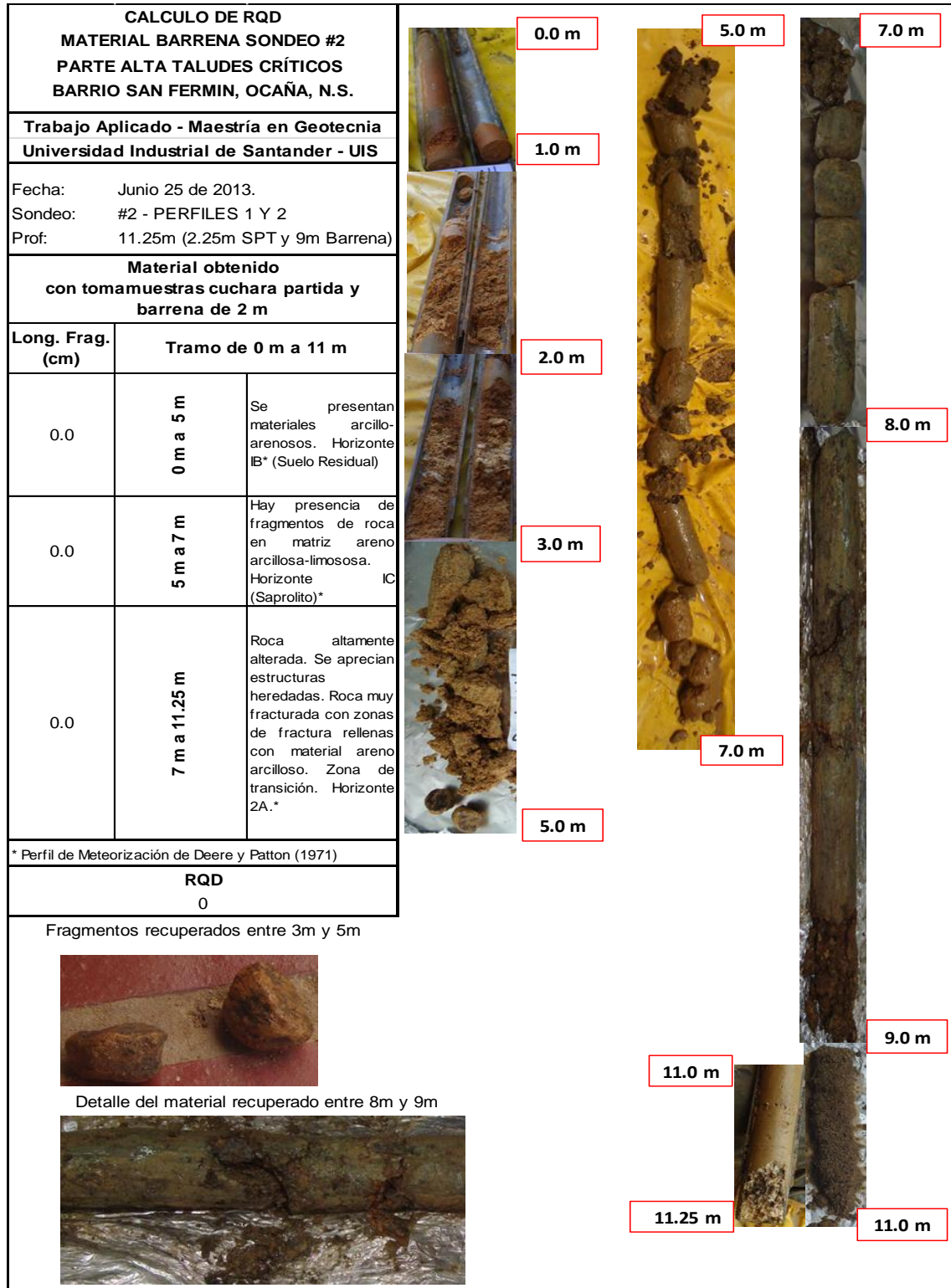
4 m



4 m

Fuente: Autor.

**Tabla 15. Detalles sondeo No. 2**

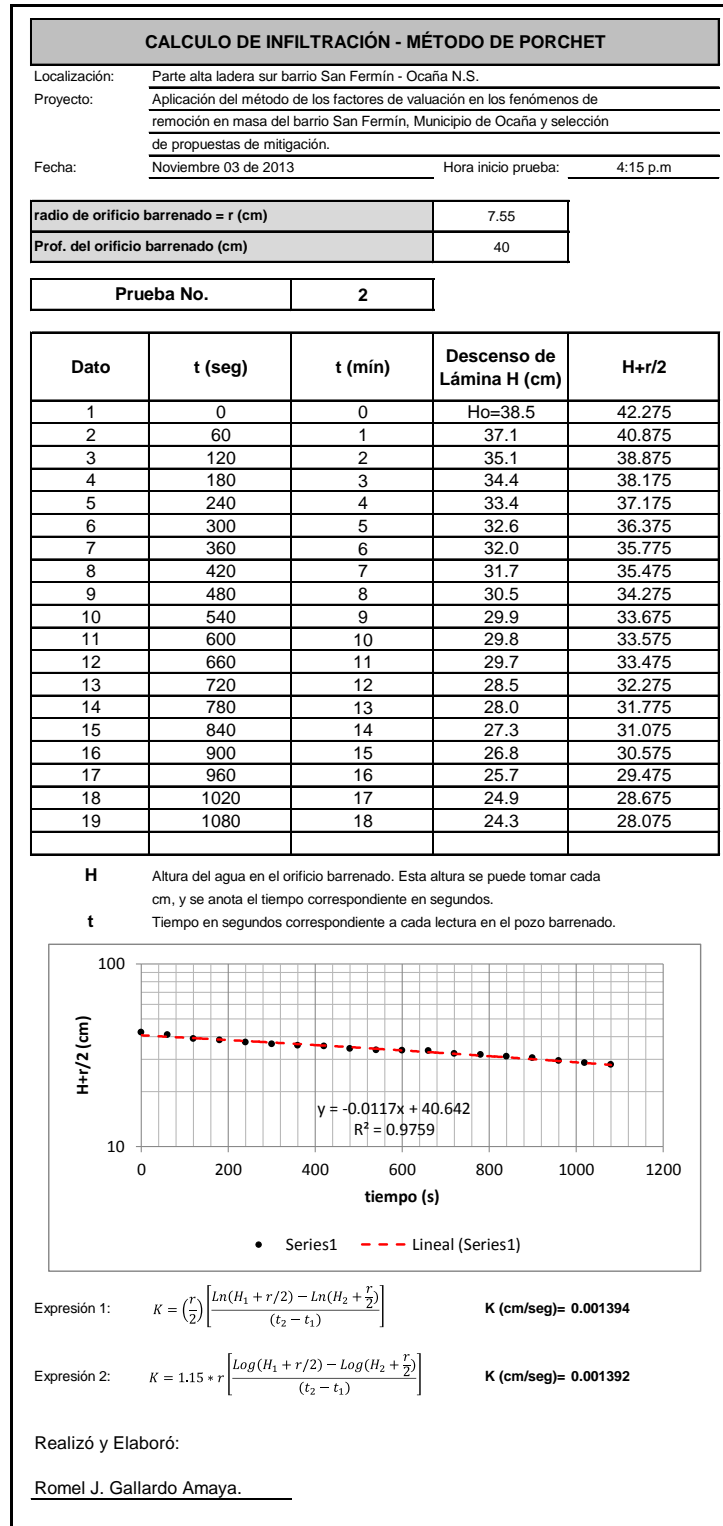


Fuente: Autor.

**Anexo D. Calculo infiltración método de Porchet del pozo barrenado  
invertido**

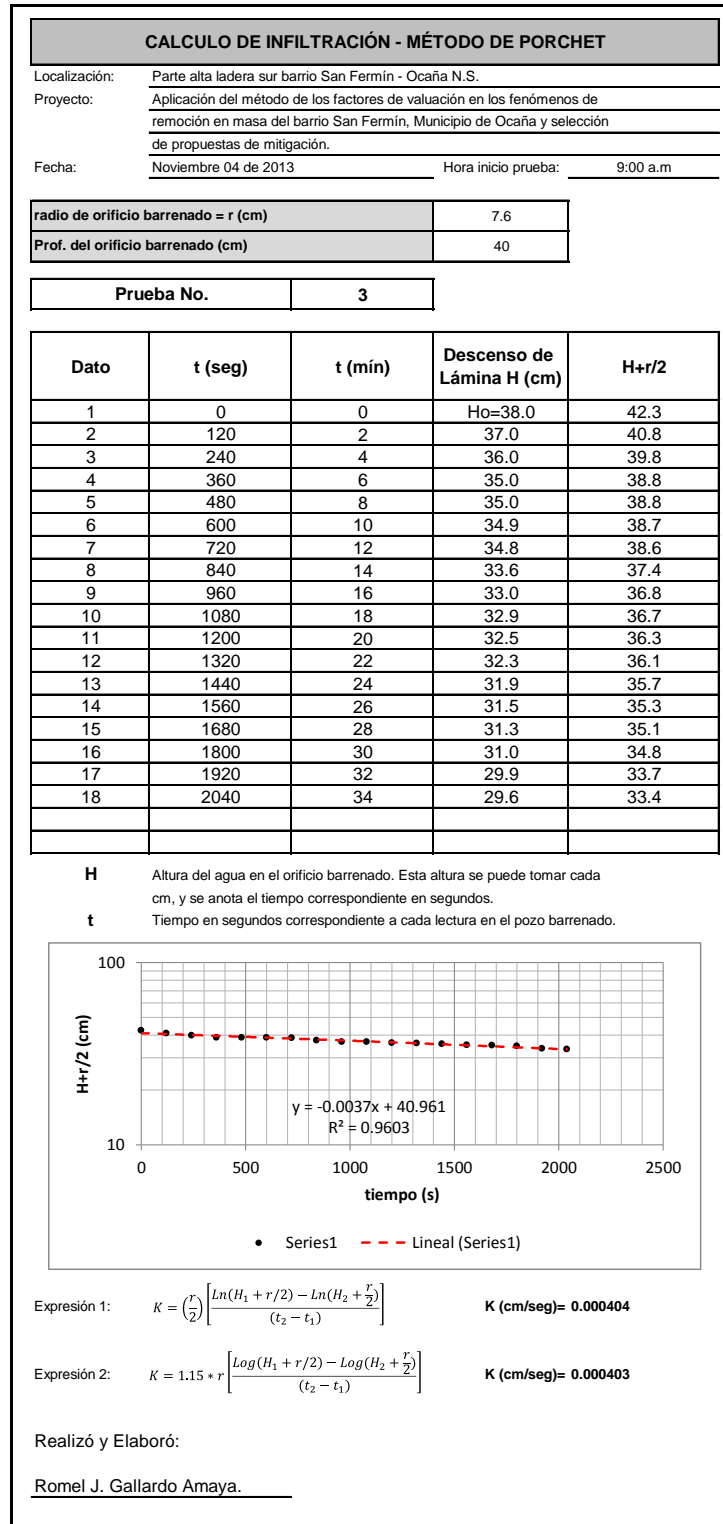


Figura 10. Cálculos prueba No. 2 de Infiltración.



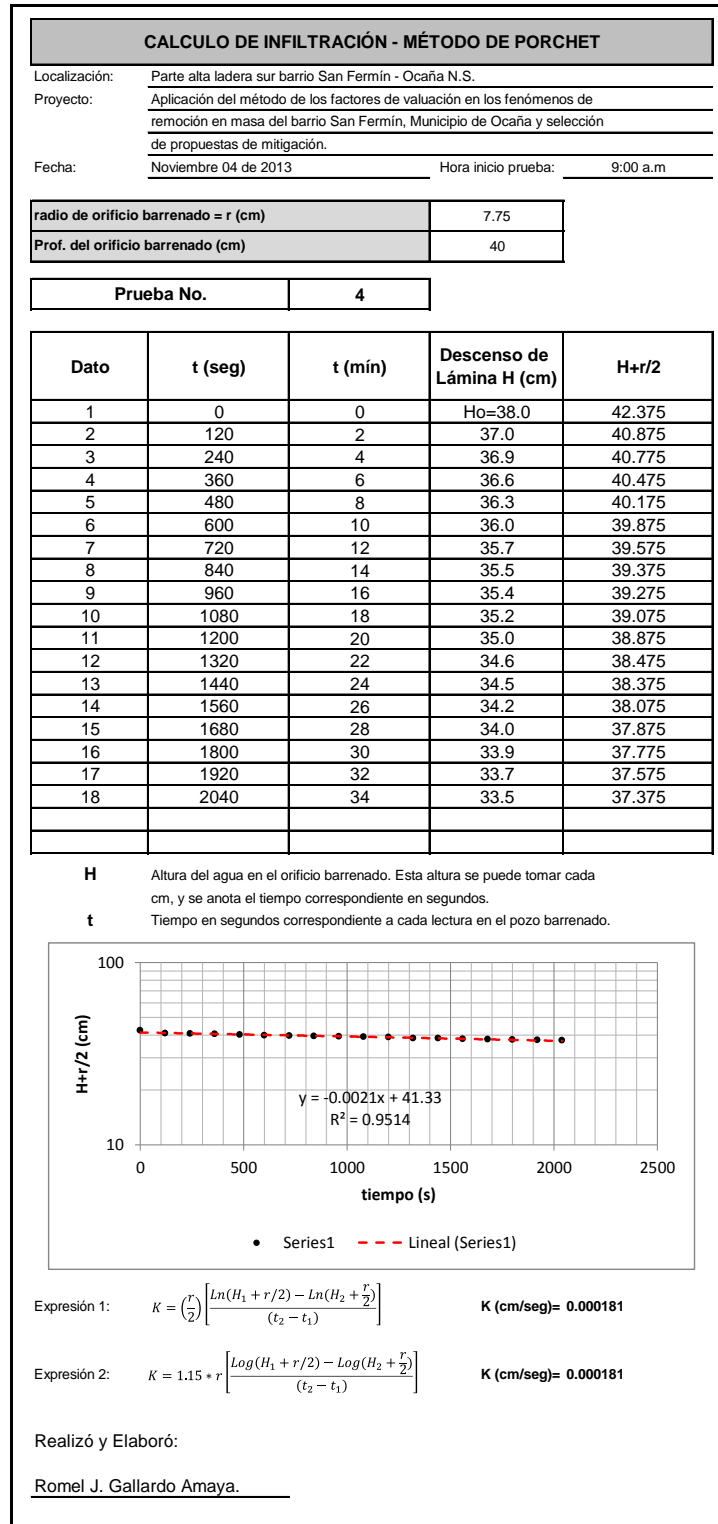
Fuente: Autor.

Figura 11. Cálculos prueba No. 3 de Infiltración.



Fuente: Autor.

Figura 12. Cálculos prueba No. 4 de Infiltración.



Fuente: Autor.

## **Anexo E. Resultados análisis con RocLab**

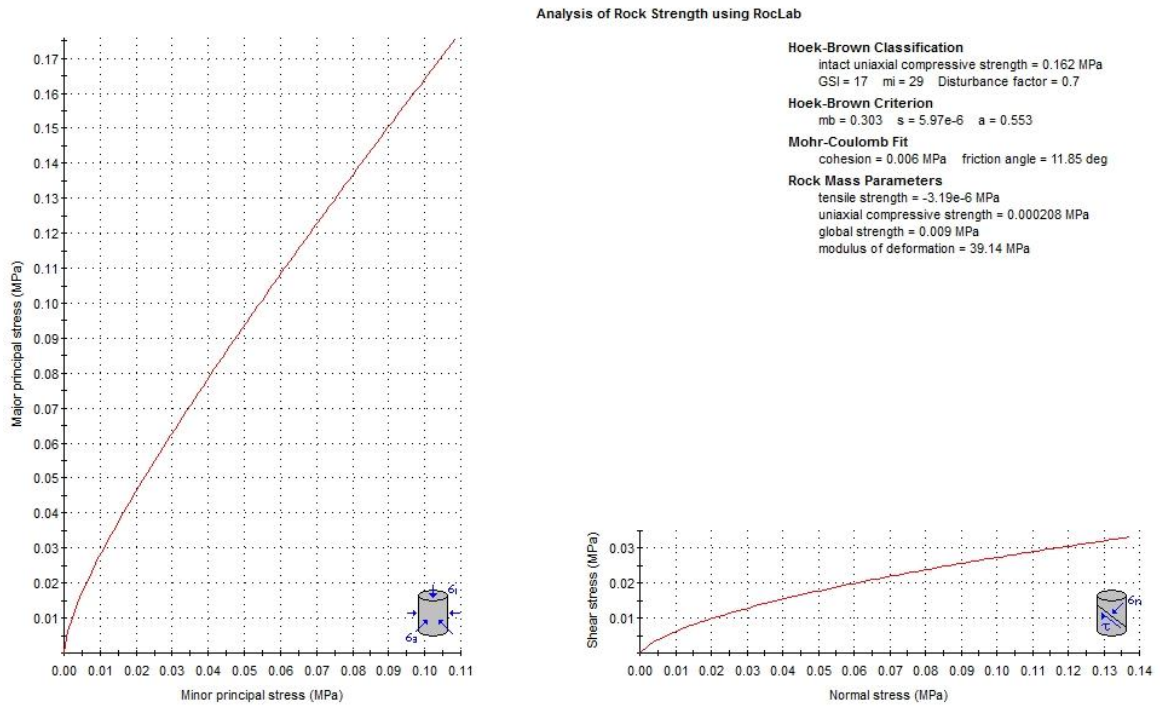
Con el objeto de poder determinar los parámetros del macizo rocoso, que pudieran utilizarse para el modelo geotécnico en el análisis de estabilidad de los taludes antes del deslizamiento, condición actual y con la implementación de obras de estabilización, se utilizó el software RocLab de Rocscience®. En las Figuras 14 y 15 se muestran los resultados obtenidos para el macizo rocoso tomando información de resistencia a la compresión uniaxial y condiciones del mismo encontradas con las muestras obtenidas del sondeo No.1 y en las Figuras 16 a 19 los resultados usando el valor correlacionado con los ensayos de dureza con martillo Schmidt (esclerómetro), carga puntual y condiciones del macizo en un sector al lado izquierdo de la vía de acceso al barrio San Fermín (ver Figura 13).

**Figura 13.** Sitio de toma de datos (talud lado izquierdo vía acceso San Fermín)



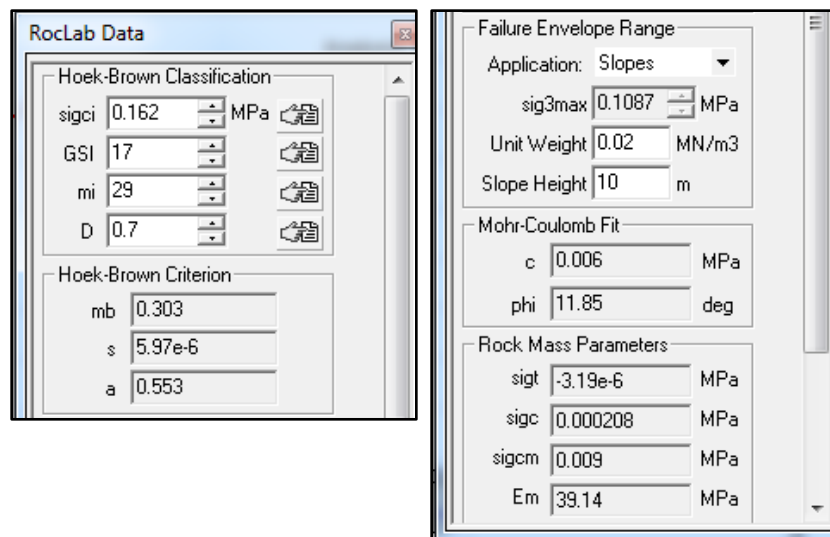
Fuente: Autor.

**Figura 14.** Resultados del análisis de parámetros del macizo rocoso utilizando el software RocLab (Gráfica de esfuerzos principales y envolvente de cortante).



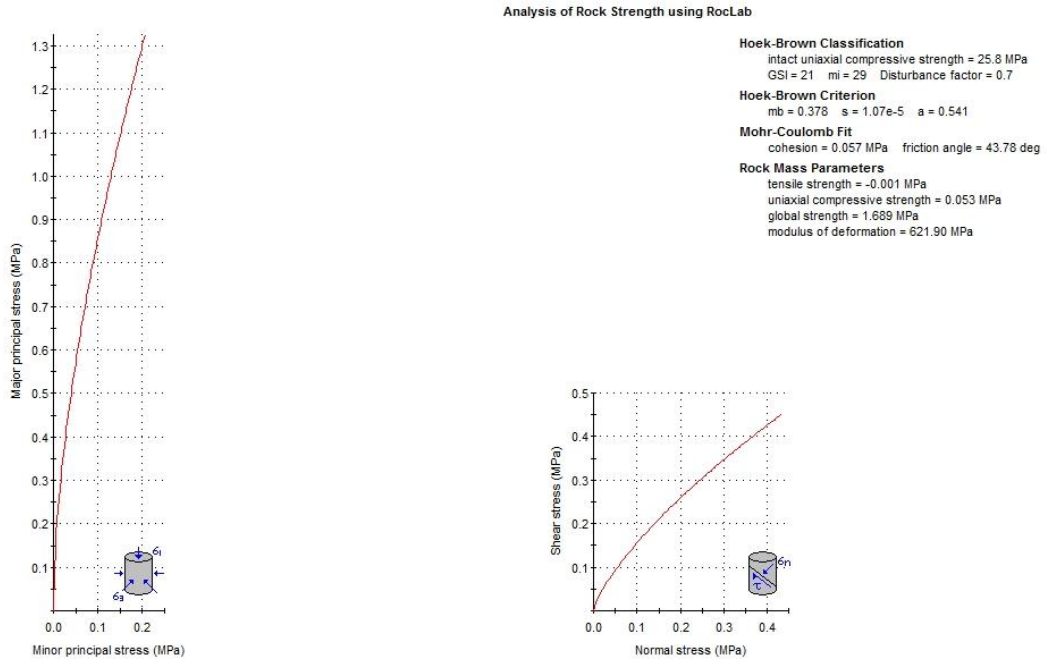
Fuente: Autor.

**Figura 15.** Resultados del análisis de parámetros del macizo rocoso utilizando el software RocLab (Data)



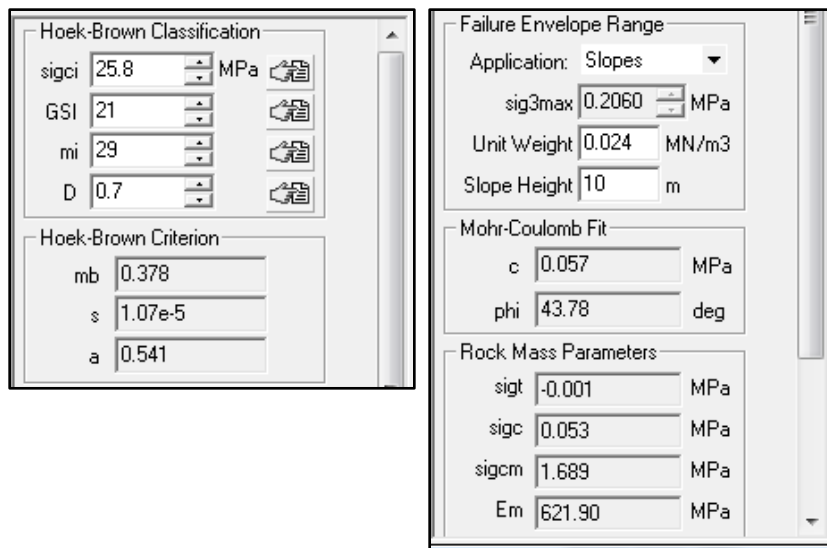
Fuente: Autor.

**Figura 16.** Resultados del análisis de parámetros del macizo rocoso utilizando el software RocLab (Gráfica de esfuerzos principales y envolvente de cortante) con resistencia a la compresión uniaxial a partir de ensayo de martillo Schmidt.



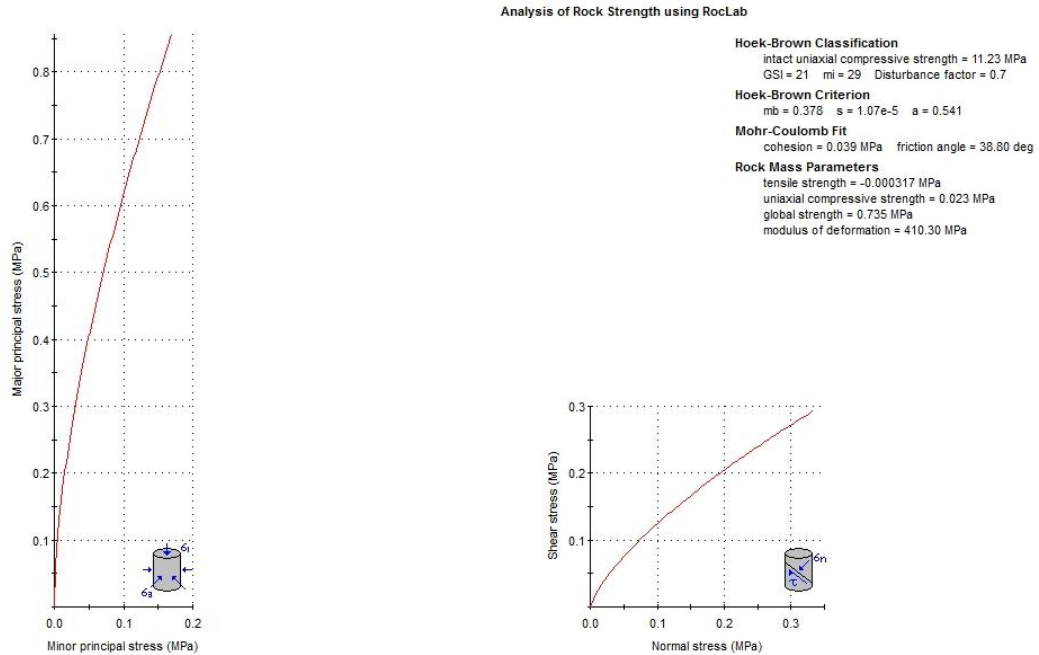
Fuente: Autor.

**Figura 17.** Resultados del análisis de parámetros del macizo rocoso utilizando el software RocLab (Data).  $\sigma_{ci}$  obtenido por ensayo de martillo Schmidt.



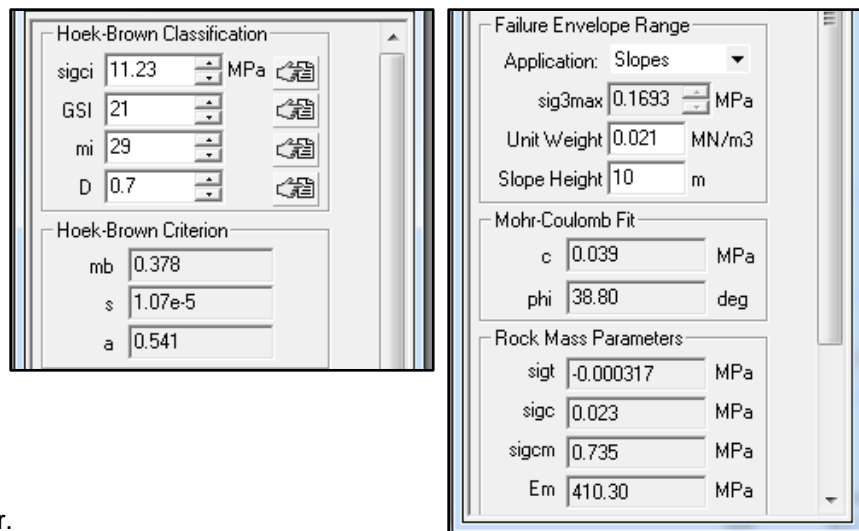
Fuente: Autor.

**Figura 18.** Resultados del análisis de parámetros del macizo rocoso utilizando el software RocLab (Gráfica de esfuerzos principales y envolvente de cortante) con resistencia a la compresión uniaxial a partir de ensayo de carga puntual.



Fuente: Autor.

**Figura 19.** Resultados del análisis de parámetros del macizo rocoso utilizando el software RocLab (Data) -  $\sigma_{ci}$  obtenido por ensayo de carga puntual.



Fuente: Autor.

## **Anexo F. Resultados ensayos de laboratorio**



**CONTENIDO DE HUMEDAD - NORMA NTC 1495**

Localización	Ladera principal Barrio San Fermín - Taludes 1 y 2 - Municipio de Ocaña N.S.	Sondeo	S1
Descripción	Material arcillo arenoso color marrón, presencia de partículas de material blanco.	Muestra N°	
Localiz. Sondeo	Parte baja Taludes 1 y 2	Profundidad	0.0 a 4.0 m
Proyecto	Aplicación del método de los Factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa barrio San Fermín, municipio de OCAÑA, y selección de obras de mitigación.	Fecha	Julio 16/2013
Director Proj.	Msc. Wilfredo del Toro		

**SONDEO N°1**

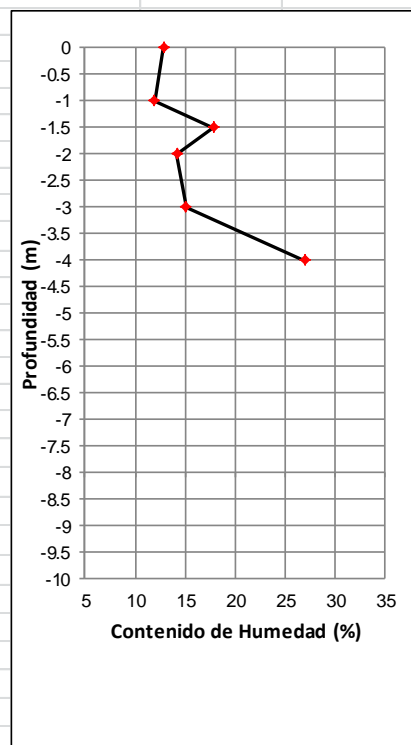
PRUEBA N°	1-S1	2-S1	3-S1
Profundidad (m)	0.0	1.0	1.5
Recipiente N°	1	2	3
Peso del recipiente (grs.)	77.93	92.11	82.43
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	105.73	136.29	102.06
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	102.56	131.58	99.09
Peso del suelo seco (grs.)	24.6	39.5	16.7
Peso del agua (grs.)	3.2	4.7	3.0
Contenido de humedad (w %)	12.87	11.93	17.83

**SONDEO N°1**

PRUEBA N°	4-S1	5-S1	6-S1
Profundidad (m)	2.0	3.0	4.0
Recipiente N°	4	5	6
Peso del recipiente (grs.)	83.74	92.10	92.46
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	107.60	122.92	124.60
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	104.64	118.87	117.77
Peso del suelo seco (grs.)	20.9	26.8	25.3
Peso del agua (grs.)	3.0	4.1	6.8
Contenido de humedad (w %)	14.16	15.13	26.99

**SONDEO N°1**

PRUEBA N°	C.I.#1-S1	C.I.#2-S1
Profundidad (m)	2.6	3.8
Recipiente N°	7	8
Peso del recipiente (grs.)	20.80	20.90
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	58.99	51.41
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	52.77	47.66
Peso del suelo seco (grs.)	32.0	26.8
Peso del agua (grs.)	6.22	3.75
Contenido de humedad (w %)	19.46	14.01



<b>ENSAYÓ:</b>	<b>ROMEL GALLARDO AMAYA</b>
<b>REVISÓ:</b>	<b>AGUSTIN MACGREGOR TORRADO</b>



**CONTENIDO DE HUMEDAD - NORMA NTC 1495**

Localización	Ladera principal Barrio San Fermín - Taludes 1 y 2 - Municipio de Ocaña N.S.	Sondeo	S2
Descripción	Material arcillo arenoso color marrón, presencia de partículas de material blanco.	Muestra N°	
Localiz. Sondeo	Parte alta Taludes 1 y 2	Profundidad	0.0 a 11.25 m
Proyecto	Aplicación del método de los Factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa barrio San Fermín, municipio de OCAÑA, y selección de obras de mitigación.	Fecha	Julio 16/2013
Director Proy.	Msc. Wilfredo del Toro		

**SONDEO N°2**

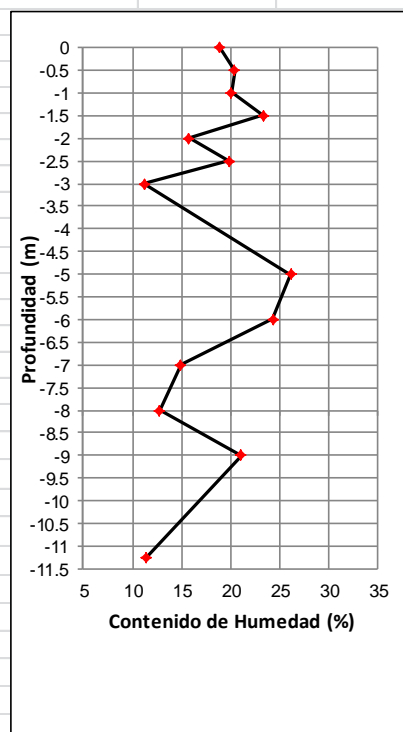
PRUEBA N°	1-S2	2-S2	3-S2
Profundidad (m)	0.0	0.5	1.0
Recipiente N°	60	61	62
Peso del recipiente (grs.)	76.1	83.4	92.57
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	98.13	95.26	108.03
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	94.62	93.25	105.44
Peso del suelo seco (grs.)	18.5	9.8	12.9
Peso del agua (grs.)	3.5	2.0	2.6
Contenido de humedad (w %)	18.95	20.41	20.12

**SONDEO N°2**

PRUEBA N°	4-S2	5-S2	6-S2
Profundidad (m)	1.5	2.0	2.5
Recipiente N°	63	64	65
Peso del recipiente (grs.)	84.49	92.51	84.4
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	98.64	130.53	102.50
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	95.96	125.34	99.50
Peso del suelo seco (grs.)	11.5	32.8	15.1
Peso del agua (grs.)	2.7	5.2	3.0
Contenido de humedad (w %)	23.37	15.81	19.87

**SONDEO N°2**

PRUEBA N°	7-S2	8-S2	9-S2
Profundidad (m)	3.0	5.0	6.0
Recipiente N°	66	72	67
Peso del recipiente (grs.)	77.30	94.55	94.33
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	139.90	132.38	153.02
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	133.61	124.97	146.64
Peso del suelo seco (grs.)	56.3	30.4	52.3
Peso del agua (grs.)	6.3	7.4	6.4
Contenido de humedad (w %)	11.17	24.36	12.20



\* Entre 6.0 m y 6.5 m el material esta saturado.

\* Humedad material de Rechazo SPT

<b>ENSAYÓ:</b>	<b>ROMEL GALLARDO AMAYA</b>	
<b>REVISÓ:</b>	<b>AGUSTIN MACGREGOR T.</b>	



CONTENIDO DE HUMEDAD - NORMA NTC 1495

Localización	Ladera principal Barrio San Fermín - Taludes 1 y 2 - Municipio de Ocaña N.S.	Sondeo	S2
Descripción	Material arcillo arenoso color marrón, presencia de partículas de material blanco.	Muestra N°	
Localiz. Sondeo	Parte alta Taludes 1 y 2	Profundidad	0.0 a 11.25 m
Proyecto	Aplicación del método de los Factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa barrio San Fermín, municipio de OCAÑA, y selección de obras de mitigación.	Fecha	Julio 16/2013
Director Proy.	Msc. Wilfredo del Toro		

SONDEO N°2

PRUEBA N°	10-S2	11-S2	12-S2
Profundidad (m)	7.0	8.0	9.0
Recipiente N°	68	69	70
Peso del recipiente (grs.)	74.6	91.63	92.63
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	165.30	126.29	144.10
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	153.51	122.37	135.14
Peso del suelo seco (grs.)	78.9	30.7	42.5
Peso del agua (grs.)	11.8	3.9	9.0
Contenido de humedad (w %)	14.94	12.75	21.08

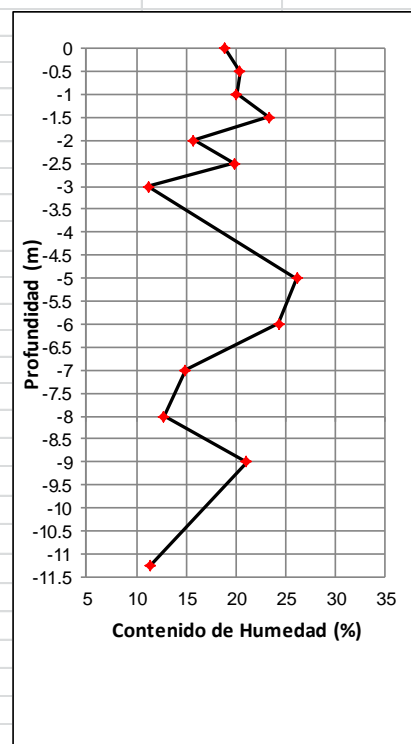
SONDEO N°2

PRUEBA N°	13-S2		
Profundidad (m)	11.3		
Recipiente N°	71		
Peso del recipiente (grs.)	82.85		
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	135.66		
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	130.25		
Peso del suelo seco (grs.)	47.4		
Peso del agua (grs.)	5.4		
Contenido de humedad (w %)	11.41		

SONDEO N°2

PRUEBA N°			
Profundidad (m)			
Recipiente N°			
Peso del recipiente (grs.)			
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)			
Peso recipiente+suelo seco (grs.)			
Peso del suelo seco (grs.)			
Peso del agua (grs.)			
Contenido de humedad (w %)			

\* Humedad material de Rechazo SPT



ENSAYÓ:	ROMEL GALLARDO AMAYA	
REVISÓ:	AGUSTIN MACGREGOR T.	



**CONTENIDO DE HUMEDAD - NORMA NTC 1495**

Localización	Ladera principal Barrio San Fermín - Taludes 1 y 2 - Municipio de Ocaña N.S.	Sondeo	S3
Descripción	Material arcillo arenoso color marrón y amarillo, presencia de partículas de material blanco.	Muestra N°	
Localiz. Sondeo	Corona Taludes 1 y 2	Profundidad	0.0 a 6.75 m
Proyecto	Aplicación del método de los Factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa barrio San Fermín, municipio de OCAÑA, y selección de obras de mitigación.	Fecha	Julio 19/2013
Director Proy.	Msc. Wilfredo del Toro		

**SONDEO N°3**

PRUEBA N°	1-S3	2-S3	3-S3
Profundidad (m)	0.0	0.5	1.0
Recipiente N°	20	21	22
Peso del recipiente (grs.)	92.55	76.96	92.56
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	201.31	132.93	188.47
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	190.88	124.08	175.54
Peso del suelo seco (grs.)	98.3	47.1	83.0
Peso del agua (grs.)	10.4	8.9	12.9
Contenido de humedad (w %)	10.61	18.78	15.58

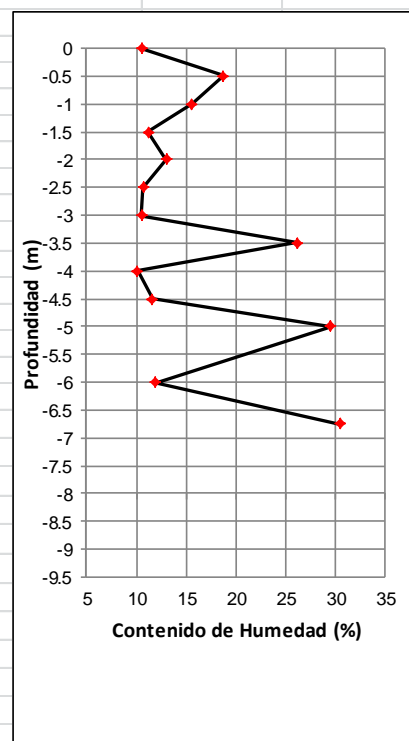
**SONDEO N°3**

PRUEBA N°	4-S3	5-S3	6-S3
Profundidad (m)	1.5	2.0	2.5
Recipiente N°	23	24	25
Peso del recipiente (grs.)	83.30	83.22	89.44
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	120.68	116.33	136.65
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	116.92	112.51	132.10
Peso del suelo seco (grs.)	33.6	29.3	42.7
Peso del agua (grs.)	3.8	3.8	4.6
Contenido de humedad (w %)	11.18	13.04	10.67

**SONDEO N°3**

PRUEBA N°	7-S3	8-S3	9-S3
Profundidad (m)	3.0	3.5	4.0
Recipiente N°	26	27	28
Peso del recipiente (grs.)	89.74	81.02	82.87
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	204.42	197.08	198.52
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	193.49	186.40	186.46
Peso del suelo seco (grs.)	103.8	105.4	103.6
Peso del agua (grs.)	10.9	10.7	12.1
Contenido de humedad (w %)	10.53	10.13	11.64

\* Humedad material de Rechazo SPT



<b>ENSAYÓ:</b>	<b>ROMEL GALLARDO AMAYA</b>	
<b>REVISÓ:</b>	<b>AGUSTIN MACGREGOR T.</b>	



**CONTENIDO DE HUMEDAD - NORMA NTC 1495**

Localización	Ladera principal Barrio San Fermín - Taludes 1 y 2 - Municipio de Ocaña N.S.	Sondeo	S3
Descripción	Material arcillo arenoso color marrón, presencia de partículas de material blanco.	Muestra N°	
Localiz. Sondeo	Corona Taludes 1 y 2	Profundidad	0.0 a 6.75 m
Proyecto	Aplicación del método de los Factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa barrio San Fermín, municipio de OCAÑA, y selección de obras de mitigación.	Fecha	Julio 19/2013
Director Proy.	Msc. Wilfredo del Toro		

**SONDEO N°3**

PRUEBA N°	10-S3	11-S3	12-S3
Profundidad (m)	4.5	5.0	6.0
Recipiente N°	29	30	31
Peso del recipiente (grs.)	83.96	82.46	77.96
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	189.90	179.63	203.91
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	173.05	168.20	188.87
Peso del suelo seco (grs.)	89.1	85.7	110.9
Peso del agua (grs.)	16.9	11.4	15.0
Contenido de humedad (w %)	18.91	13.33	13.56

**SONDEO N°3**

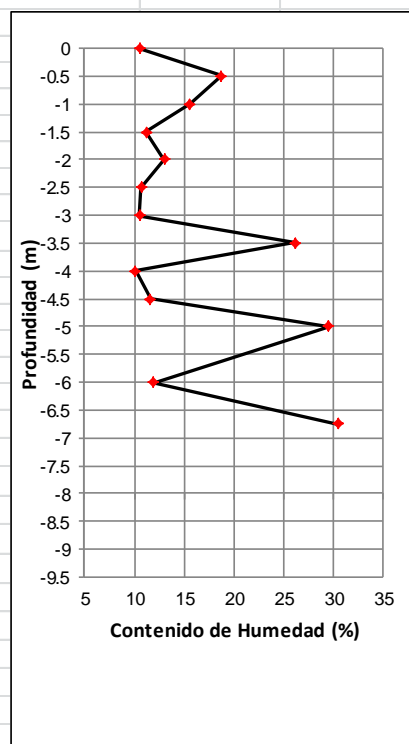
PRUEBA N°	13-S3		
Profundidad (m)	6.8		
Recipiente N°	32		
Peso del recipiente (grs.)	92.24		
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	221.98		
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	209.71		
Peso del suelo seco (grs.)	117.5		
Peso del agua (grs.)	12.3		
Contenido de humedad (w %)	10.45		

**SONDEO N°3**

PRUEBA N°			
Profundidad (m)			
Recipiente N°			
Peso del recipiente (grs.)			
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)			
Peso recipiente+suelo seco (grs.)			
Peso del suelo seco (grs.)			
Peso del agua (grs.)			
Contenido de humedad (w %)			

\* Humedad material de Rechazo SPT

<b>ENSAYÓ:</b>	<b>ROMEL GALLARDO AMAYA</b>	
<b>REVISÓ:</b>	<b>AGUSTIN MACGREGOR T.</b>	





**CONTENIDO DE HUMEDAD - NORMA NTC 1495**

Localización	Ladera principal Barrio San Fermín - Taludes 1 y 2 - Municipio de Ocaña N.S.	Sondeo	S4
Descripción	Material arcillo arenoso color marrón, presencia de partículas de material blanco.	Muestra N°	
Localiz. Sondeo	Corona Taludes 1 y 2	Profundidad	0.0 a 9.0 m
Proyecto	Aplicación del método de los Factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa barrio San Fermín, municipio de OCAÑA, y selección de obras de mitigación.	Fecha	Julio 17/2013
Director Proy.	Msc. Wilfredo del Toro		

**SONDEO N°4**

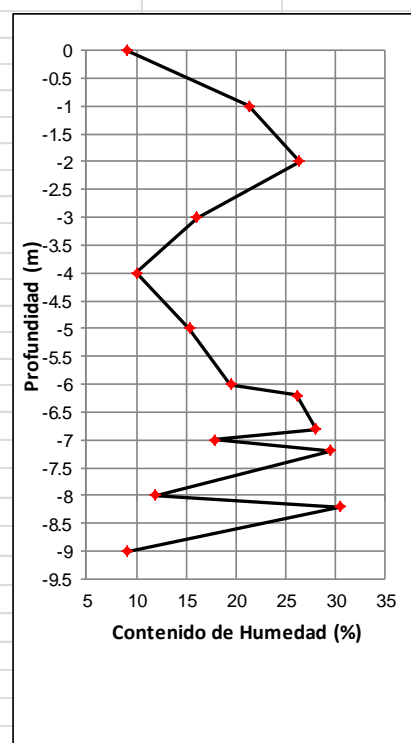
PRUEBA N°	1-S4	2-S4	3-S4
Profundidad (m)	0.0	1.0	2.0
Recipiente N°	41	42	43
Peso del recipiente (grs.)	92.35	84.85	91.04
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	143.68	189.36	180.33
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	139.38	171.00	161.68
Peso del suelo seco (grs.)	47.0	86.2	70.6
Peso del agua (grs.)	4.3	18.4	18.7
Contenido de humedad (w %)	9.14	21.31	26.40

**SONDEO N°4**

PRUEBA N°	4-S4	5-S4	6-S4
Profundidad (m)	3.0	4.0	5.0
Recipiente N°	44	45	46
Peso del recipiente (grs.)	83.76	94.33	92.08
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	194.06	209.67	217.64
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	178.76	199.14	200.92
Peso del suelo seco (grs.)	95.0	104.8	108.8
Peso del agua (grs.)	15.3	10.5	16.7
Contenido de humedad (w %)	16.11	10.05	15.36

**SONDEO N°4**

PRUEBA N°	7-S4	8-S4	9-S4
Profundidad (m)	6.0	6.8	7.0
Recipiente N°	47	48	49
Peso del recipiente (grs.)	84.52	84.87	84.46
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	208.80	116.64	164.68
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	188.52	109.68	152.53
Peso del suelo seco (grs.)	104.0	24.8	68.1
Peso del agua (grs.)	20.3	7.0	12.2
Contenido de humedad (w %)	19.50	28.05	17.85



\* Entre 6.0 m y 6.5 m el material esta saturado.

\* Humedad material de Rechazo SPT

<b>ENSAYÓ:</b>	<b>ROMEL GALLARDO AMAYA</b>	
<b>REVISÓ:</b>	<b>AGUSTIN MACGREGOR T.</b>	



**CONTENIDO DE HUMEDAD - NORMA NTC 1495**

Localización	Ladera principal Barrio San Fermín - Taludes 1 y 2 - Municipio de Ocaña N.S.	Sondeo	S4
Descripción	Material arcillo arenoso color marrón, presencia de partículas de material blanco.	Muestra N°	
Localiz. Sondeo	Corona Taludes 1 y 2	Profundidad	0.0 a 9.0 m
Proyecto	Aplicación del método de los Factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa barrio San Fermín, municipio de OCAÑA, y selección de obras de mitigación.	Fecha	Julio 17/2013
Director Proy.	Msc. Wilfredo del Toro		

**SONDEO N°4**

PRUEBA N°	10-S4	11-S4	12-S4
Profundidad (m)	6.2	7.2	8.0
Recipiente N°	56	54	51
Peso del recipiente (grs.)	90.12	82.68	93.32
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	131.12	123.46	220.13
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	122.61	114.15	206.63
Peso del suelo seco (grs.)	32.5	31.5	113.3
Peso del agua (grs.)	8.5	9.3	13.5
Contenido de humedad (w %)	26.19	29.58	11.91

**SONDEO N°4**

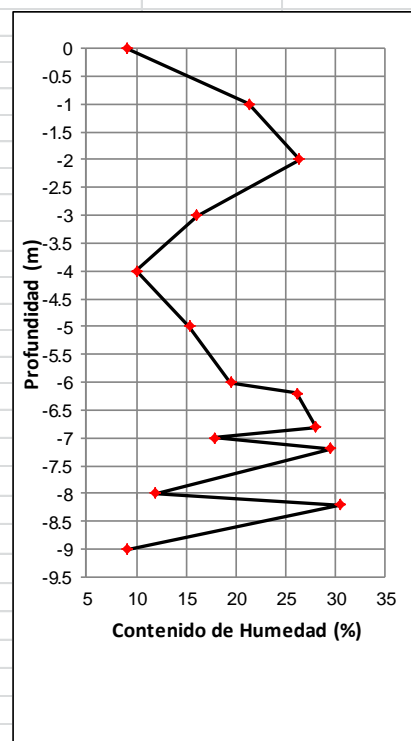
PRUEBA N°	13-S4	14-S4
Profundidad (m)	8.2	9.0
Recipiente N°	55	52
Peso del recipiente (grs.)	94.82	94.60
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	128.90	181.47
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	120.93	174.28
Peso del suelo seco (grs.)	26.1	79.7
Peso del agua (grs.)	8.0	7.2
Contenido de humedad (w %)	30.52	9.02

**SONDEO N°4**

PRUEBA N°		
Profundidad (m)		
Recipiente N°		
Peso del recipiente (grs.)		
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)		
Peso recipiente+suelo seco (grs.)		
Peso del suelo seco (grs.)		
Peso del agua (grs.)		
Contenido de humedad (w %)		

\* Humedad material de Rechazo SPT

<b>ENSAYÓ:</b>	<b>ROMEL GALLARDO AMAYA</b>
<b>REVISÓ:</b>	<b>AGUSTIN MACGREGOR T.</b>





**CONTENIDO DE HUMEDAD - NORMA NTC 1495**

Localización	Ladera principal Barrio San Fermín - Taludes 1 y 2 - Municipio de Ocaña N.S.	Sondeo	S5
Descripción	Material areno-arcillos color marrón y amarillo, presencia de partículas de material blanco.	Muestra N°	
Localiz. Sondeo	Corona Taludes 1 y 2 (Izq.)	Profundidad	0.0 a 2.6 m
Proyecto	Aplicación del método de los Factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa barrio San Fermín, municipio de OCAÑA, y selección de obras de mitigación.	Fecha	Julio 15/2013
Director Proy.	Msc. Wilfredo del Toro		

**SONDEO N°5**

PRUEBA N°	1-S5	2-S5	3-S5
Profundidad (m)	0.0	1.0	2.0
Recipiente N°	1	2	3
Peso del recipiente (grs.)	86.47	86.47	82.58
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	115.30	121.48	110.42
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	111.20	115.26	106.85
Peso del suelo seco (grs.)	24.7	28.8	24.3
Peso del agua (grs.)	4.1	6.2	3.6
Contenido de humedad (w %)	16.58	21.60	14.71

**SONDEO N°5**

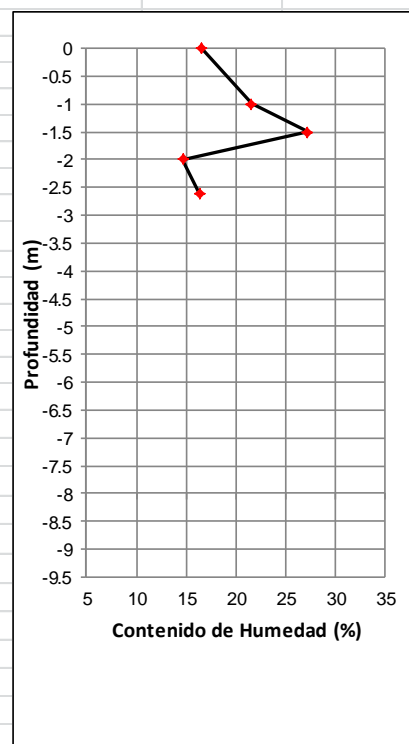
PRUEBA N°	4-S5	5-S5 (NF)
Profundidad (m)	2.6	1.5
Recipiente N°	4	5
Peso del recipiente (grs.)	82.31	81.50
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	121.67	128.63
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	116.15	118.54
Peso del suelo seco (grs.)	33.8	37.0
Peso del agua (grs.)	5.5	10.1
Contenido de humedad (w %)	16.31	27.24

**SONDEO N°5**

PRUEBA N°		
Profundidad (m)		
Recipiente N°		
Peso del recipiente (grs.)		
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)		
Peso recipiente+suelo seco (grs.)		
Peso del suelo seco (grs.)		
Peso del agua (grs.)		
Contenido de humedad (w %)		

\* Humedad material de Rechazo SPT

<b>ENSAYÓ:</b>	<b>ROMEL GALLARDO AMAYA</b>	
<b>REVISÓ:</b>	<b>AGUSTIN MACGREGOR T.</b>	





**ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE PLASTICIDAD**

**PROYECTO** : Aplicación del método de los factores de Valoración en los Fenómenos de Remoción en Masa del Barrio San Fermín, Municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación. **Director Proyecto:** Msc. Wilfredo del Toro

**SITIO SONDEO** : Ladera Sur - Terraza media - pie Talud **Fecha :** Julio 16 de 2013  
**PROFUNDIDAD** : 0.0 - 1.0 m (S#1) y 1.5 - 2.0 m (S#2)  
**MUESTRA** : 1 - SONDEO 1 **Realizó:** Romel Gallardo Amaya

W Tara + S. Hum. : 136.29 **NTC 1495**  
W tara + S. Seco : 131.58  
W tara : 92.11  
W Suelo Seco : 39.47  
W Agua : 4.71  
**Humedad Natural %** : 11.93

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTERBERG)**

**LIMITE LIQUIDO** **NTC 1494**

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (NTC 1522)**

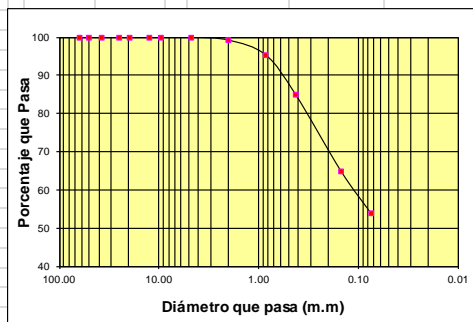
Tamiz		Peso Retenido	%	% que pasa
No.	m.m	grs	Retenido	%
21/2	62.50	0.0	0.00	100.00
2	50.00	0.0	0.00	100.00
11/2	37.50	0.0	0.00	100.00
1"	25.00	0.0	0.00	100.00
3/4	19.50	0.0	0.00	100.00
1/2	12.50	0.0	0.00	100.00
3/8	9.50	0.0	0.00	100.00
4	4.76	0.0	0.00	100.00
10	2.00	1.7	0.79	99.21
20	0.85	8.3	3.85	95.37
40	0.43	22.4	10.38	84.99
100	0.15	43.3	20.06	64.92
200	0.074	24.1	11.17	53.75
Pasa 200		116.0	53.75	

Tara No.	56	73	74	83
W Tara + S. Hum.	47.31	45.65	44.05	46.89
W tara + S. Seco	39.57	38.81	38.04	40.48
W tara	18.91	18.94	19.52	19.69
W Suelo Seco	20.66	19.87	18.52	20.79
W Agua	7.74	6.84	6.01	6.41
Humedad %	37.46	34.42	32.45	30.83
No. de Golpes	12	20	29	36

**LIMITE PLASTICO** **NTC 1493**

Tara No.	14	22	
W tara + S Hum.	18.89	20.36	
W tara + S. Seco	17.48	18.79	
W tara	10.53	11.06	
W Suelo Seco	6.95	7.73	
W Agua	1.41	1.57	
Humedad %	20.29	20.31	20.30

W suelo seco : 215.80 grs



**GRAVA:** 0.00 **D10:** - **LIMITE LIQUIDO:** 33.00  
**ARENA:** 46.25 **D30:** - **LIMITE PLASTICO:** 20.30  
**FINOS:** 53.75 **D60:** 0.12 **INDICE PLASTICO:** 12.70  
**Cc:** - **Cu:** - **CLASIFICACION:** S.U.C.S. **CL**



**OBSERVACIONES:** Arcilla arenosa color marrón naranja con partículas de color blanco.

<b>ENSAYÓ</b>	ROMEL GALLARDO AMAYA
<b>REVISÓ</b>	AGUSTIN MACGREGOR TORRADO



**ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE PLASTICIDAD**

**PROYECTO** : Aplicación del método de los factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa del Barrio San Fermín, Municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación. **Director Proyecto:** Msc. Wilfredo del Toro

**SITIO SONDEO** : Ladera Sur - Terraza media - pie Talud **Fecha :** Julio 16 de 2013  
**PROFUNDIDAD** : 1.0 - 3.0 m  
**MUESTRA** : 2 - SONDEO 1 **Realizó:** Romel Gallardo Amaya

W Tara + S. Hum. : 107.60 **NTC 1495**  
W tara + S. Seco : 104.64  
W tara : 83.74  
W Suelo Seco : 20.90  
W Agua : 2.96  
**Humedad Natural %** : 14.16

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTERBERG)**

**LIMITE LIQUIDO** **NTC 1494**

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (NTC 1522)**

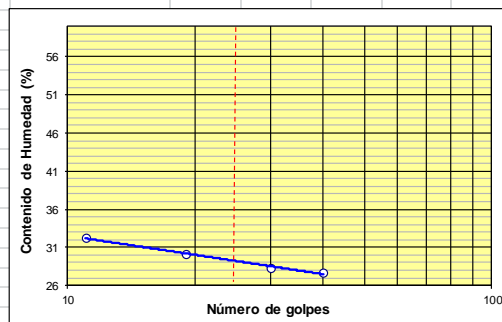
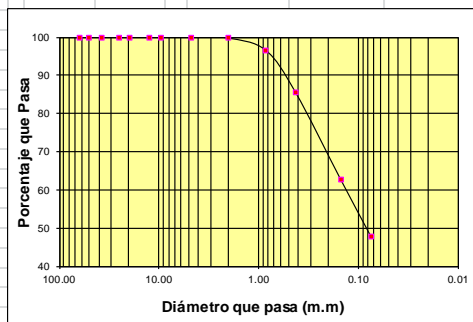
Tamiz No.	m.m	Peso Retenido grs	% Retenido	% que pasa %
21/2	62.50	0.0	0.00	100.00
2	50.00	0.0	0.00	100.00
11/2	37.50	0.0	0.00	100.00
1"	25.00	0.0	0.00	100.00
3/4	19.50	0.0	0.00	100.00
1/2	12.50	0.0	0.00	100.00
3/8	9.50	0.0	0.00	100.00
4	4.76	0.0	0.00	100.00
10	2.00	1.3	0.28	99.72
20	0.85	14.7	3.13	96.60
40	0.43	52.1	11.08	85.52
100	0.15	107.9	22.94	62.58
200	0.074	70.3	14.95	47.63
Pasa 200		224.0	47.63	

Tara No.	11	26	30	35
W Tara + S. Hum.	49.92	43.60	43.57	44.59
W tara + S. Seco	42.80	37.77	38.13	38.88
W tara	20.74	18.43	18.92	18.26
W Suelo Seco	22.06	19.34	19.21	20.62
W Agua	7.12	5.83	5.44	5.71
Humedad %	32.28	30.14	28.32	27.69
No. de Golpes	11	19	30	40

**LIMITE PLASTICO** **NTC 1493**

Tara No.	16	37	
W tara + S Hum.	19.31	14.83	
W tara + S. Seco	17.81	13.32	
W tara	11.50	7.19	
W Suelo Seco	6.31	6.13	
W Agua	1.50	1.51	
Humedad %	23.77	24.63	24.20

W suelo seco : 470.30 grs



<b>GRAVA:</b>	0.00	<b>D10:</b>	-	<b>LIMITE LIQUIDO:</b>	29.00
<b>ARENA:</b>	52.37	<b>D30:</b>	-	<b>LIMITE PLASTICO:</b>	24.20
<b>FINOS:</b>	47.63	<b>D60:</b>	0.15	<b>INDICE PLASTICO:</b>	4.80
<b>Cc:</b>	-	<b>Cu:</b>	-	<b>CLASIFICACION:</b>	S.U.C.S. <b>SM</b>



**OBSERVACIONES:** Arena Limo-Arcillosa color marrón naranja con partículas de color blanco.

<b>ENSAYÓ</b>	ROMEL GALLARDO AMAYA
<b>REVISÓ</b>	AGUSTIN MACGREGOR TORRADO



**ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE PLASTICIDAD**

**PROYECTO** : Aplicación del método de los factores de Valoración en los Fenómenos de Remoción en Masa del Barrio San Fermín, Municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación. **Director Proyecto:** Msc. Wilfredo del Toro

**SITIO SONDEO** : Ladera Sur - Terraza media - pie Talud **Fecha :** Julio 16 de 2013  
**PROFUNDIDAD** : 3.0 - 4.0 m  
**MUESTRA** : 3 - SONDEO 1 **Realizó:** Romel Gallardo Amaya

W Tara + S. Hum. : 124.60 **NTC 1495**  
W tara + S. Seco : 117.77  
W tara : 92.46  
W Suelo Seco : 25.31  
W Agua : 6.83  
**Humedad Natural %** : 26.99

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTERBERG)**

**LIMITE LIQUIDO** **NTC 1494**

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (NTC 1522)**

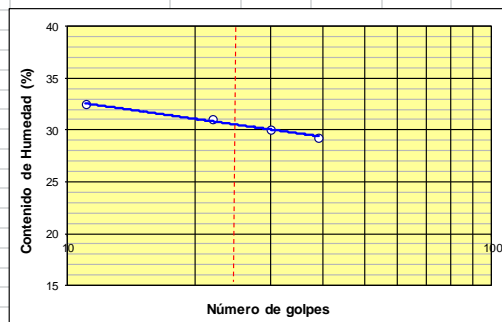
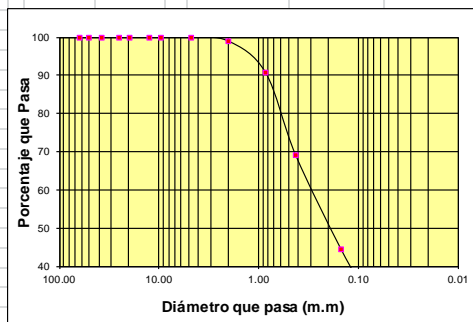
Tamiz No.	Tamiz m.m	Peso Retenido grs	% Retenido	% que pasa %
21/2	62.50	0.0	0.00	100.00
2	50.00	0.0	0.00	100.00
11/2	37.50	0.0	0.00	100.00
1"	25.00	0.0	0.00	100.00
3/4	19.50	0.0	0.00	100.00
1/2	12.50	0.0	0.00	100.00
3/8	9.50	0.0	0.00	100.00
4	4.76	0.0	0.00	100.00
10	2.00	2.3	1.05	98.95
20	0.85	18.1	8.23	90.72
40	0.43	47.4	21.57	69.15
100	0.15	54.2	24.66	44.49
200	0.074	30.8	14.01	30.48
Pasa 200		67.0	30.48	

Tara No.	1	4	31	36
W Tara + S. Hum.	49.84	46.26	42.70	43.50
W tara + S. Seco	42.46	40.24	37.04	37.88
W tara	19.73	20.85	18.20	18.70
W Suelo Seco	22.73	19.39	18.84	19.18
W Agua	7.38	6.02	5.66	5.62
Humedad %	32.47	31.05	30.04	29.30
No. de Golpes	11	22	30	39

**LIMITE PLASTICO** **NTC 1493**

Tara No.	41	43	
W tara + S Hum.	16.08	16.86	
W tara + S. Seco	14.54	15.17	
W tara	8.35	8.44	
W Suelo Seco	6.19	6.73	
W Agua	1.54	1.69	
Humedad %	24.88	25.11	25.00

W suelo seco : 219.80 grs



**GRAVA:** 0.00 **D10:** - **LIMITE LIQUIDO:** 30.50  
**ARENA:** 69.52 **D30:** - **LIMITE PLASTICO:** 25.00  
**FINOS:** 30.48 **D60:** 0.15 **INDICE PLASTICO:** 5.50  
**Cc:** - **Cu:** - **CLASIFICACION:** S.U.C.S. **SM**



**OBSERVACIONES:** Arena Limo-Arcillosa color marrón con vetas de material amarillo y con partículas de color blanco.

<b>ENSAYÓ</b>	ROMEL GALLARDO AMAYA
<b>REVISÓ</b>	AGUSTIN MACGREGOR TORRADO



**ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE PLASTICIDAD**

**PROYECTO** : Aplicación del método de los factores de Valoración en los Fenómenos de Remoción en Masa del Barrio San Fermín, Municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación. **Director Proyecto:** Msc. Wilfredo del Toro

**SITIO SONDEO** : Ladera Sur - Terraza media - Parte Alta Talud **Fecha :** Julio 17 de 2013

**PROFUNDIDAD** : 0.0 - 1.0 m

**MUESTRA** : 1 - SONDEO 2 **Realizó:** Romel Gallardo Amaya

W Tara + S. Hum. : 95.26 **NTC 1495**  
W tara + S. Seco : 93.25  
W tara : 83.40  
W Suelo Seco : 9.85  
W Agua : 2.01  
**Humedad Natural %** : 20.41

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTERBERG)**

**LIMITE LIQUIDO** **NTC 1494**

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (NTC 1522)**

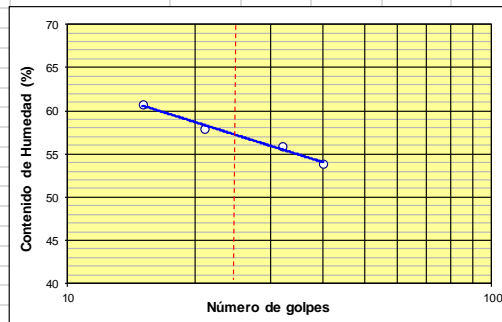
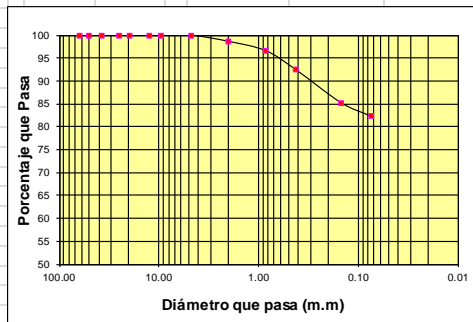
No.	Tamiz m.m	Peso Retenido grs	% que pasa	
			Retenido	%
21/2	62.50	0.0	0.00	100.00
2	50.00	0.0	0.00	100.00
11/2	37.50	0.0	0.00	100.00
1"	25.00	0.0	0.00	100.00
3/4	19.50	0.0	0.00	100.00
1/2	12.50	0.0	0.00	100.00
3/8	9.50	0.0	0.00	100.00
4	4.76	0.0	0.00	100.00
10	2.00	3.1	1.36	98.64
20	0.85	4.6	2.02	96.62
40	0.43	9.4	4.12	92.50
100	0.15	16.5	7.23	85.27
200	0.074	6.8	2.98	82.29
Pasa 200		187.7	82.29	

Tara No.	53	59	85	86
W Tara + S. Hum.	42.77	43.08	42.91	43.62
W tara + S. Seco	34.02	34.24	33.76	35.03
W tara	19.62	18.98	17.40	19.08
W Suelo Seco	14.40	15.26	16.36	15.95
W Agua	8.75	8.84	9.15	8.59
Humedad %	60.76	57.93	55.93	53.86
No. de Golpes	15	21	32	40

**LIMITE PLASTICO** **NTC 1493**

Tara No.	18	22	
W tara + S Hum.	17.43	17.12	
W tara + S. Seco	16.18	15.84	
W tara	11.49	11.05	
W Suelo Seco	4.69	4.79	
W Agua	1.25	1.28	
Humedad %	26.65	26.72	26.69

W suelo seco : 228.10 grs



**GRAVA:** 0.00 **D10:** - **LIMITE LIQUIDO:** 57.00  
**ARENA:** 17.71 **D30:** - **LIMITE PLASTICO:** 26.69  
**FINOS:** 82.29 **D60:** - **INDICE PLASTICO:** 30.31  
**Cc:** - **Cu:** - **CLASIFICACION:** S.U.C.S. **CH**



**OBSERVACIONES:** Material Arcilloso de alta plasticidad color marrón rojizo. Presencia de arenas. Presencia de partículas de color blanco.

<b>ENSAYÓ</b>	ROMEL GALLARDO AMAYA
<b>REVISÓ</b>	AGUSTIN MACGREGOR TORRADO



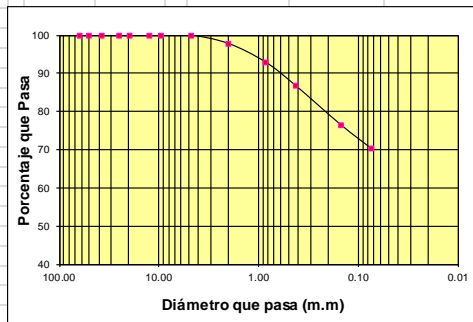
**ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE PLASTICIDAD**

<b>PROYECTO</b>	: Aplicación del método de los factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa del Barrio San Fermín, Municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación.	<b>Director Proyecto:</b>	Msc. Wilfredo del Toro
<b>SITIO SONDEO</b>	: Ladera Sur - Terraza media - pie Talud	<b>Fecha :</b>	Julio 17 de 2013
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 1.0 - 2.0 m	<b>Realizó:</b>	Romel Gallardo Amaya
<b>MUESTRA</b>	: 2 - SONDEO 2		
W Tara + S. Hum.	: 98.64	<b>NTC 1495</b>	
W tara + S. Seco	: 95.96		
W tara	: 84.49		
W Suelo Seco	: 11.47		
W Agua	: 2.68		
<b>Humedad Natural %</b>	: 23.37		

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (NTC 1522)**

Tamiz No.	m.m	Peso Retenido grs	% Retenido	% que pasa %
21/2	62.50	0.0	0.00	100.00
2	50.00	0.0	0.00	100.00
11/2	37.50	0.0	0.00	100.00
1"	25.00	0.0	0.00	100.00
3/4	19.50	0.0	0.00	100.00
1/2	12.50	0.0	0.00	100.00
3/8	9.50	0.0	0.00	100.00
4	4.76	0.0	0.00	100.00
10	2.00	4.5	2.19	97.81
20	0.85	10.0	4.86	92.95
40	0.43	12.6	6.13	86.82
100	0.15	21.2	10.31	76.51
200	0.074	12.7	6.18	70.33
Pasa 200		144.6	70.33	

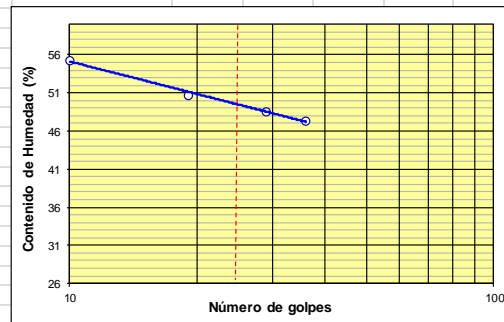
W suelo seco : 205.60 grs



Tara No.	24	25	30	35
W Tara + S. Hum.	44.12	42.91	44.58	42.46
W tara + S. Seco	34.98	34.55	36.18	34.68
W tara	18.45	18.09	18.90	18.25
W Suelo Seco	16.53	16.46	17.28	16.43
W Agua	9.14	8.36	8.40	7.78
Humedad %	55.29	50.79	48.61	47.35
No. de Golpes	10	19	29	36

**LIMITE LIQUIDO** NTC 1494

Tara No.	39	40	
W tara + S Hum.	13.88	13.53	
W tara + S. Seco	12.39	12.16	
W tara	7.25	7.36	
W Suelo Seco	5.14	4.80	
W Agua	1.49	1.37	
Humedad %	28.99	28.54	28.76



<b>GRAVA:</b>	0.00	<b>D10:</b>	-	<b>LIMITE LIQUIDO:</b>	49.50
<b>ARENA:</b>	29.67	<b>D30:</b>	-	<b>LIMITE PLASTICO:</b>	28.76
<b>FINOS:</b>	70.33	<b>D60:</b>	-	<b>INDICE PLASTICO:</b>	20.74
<b>Cc:</b>	-	<b>Cu:</b>	-	<b>CLASIFICACION:</b>	S.U.C.S. ML



**OBSERVACIONES:** Material Limo Arcilloso de plasticidad media color amarillo, con presencia de Arenas. Presencia de partículas de color blanco.

<b>ENSAYÓ</b>	ROMEL GALLARDO AMAYA
<b>REVISÓ</b>	AGUSTIN MACGREGOR TORRADO



**ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE PLASTICIDAD**

**PROYECTO** : Aplicación del método de los factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa del Barrio San Fermín, Municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación. **Director Proyecto:** Msc. Wilfredo del Toro

**SITIO SONDEO** : Ladera Sur - Terraza media - pie Talud **Fecha :** Julio 17 de 2013  
**PROFUNDIDAD** : 2.0 - 3.0 m **Realizó:** Romel Gallardo Amaya  
**MUESTRA** : 3 - SONDEO 2

W Tara + S. Hum. : 102.50 **NTC 1495**  
W tara + S. Seco : 99.50  
W tara : 84.40  
W Suelo Seco : 15.10  
W Agua : 3.00  
**Humedad Natural %** : 19.87

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTERBERG)**

**LIMITE LIQUIDO** **NTC 1494**

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (NTC 1522)**

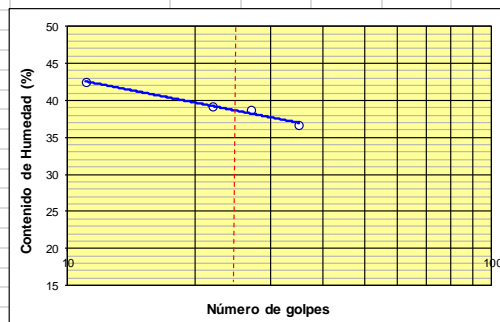
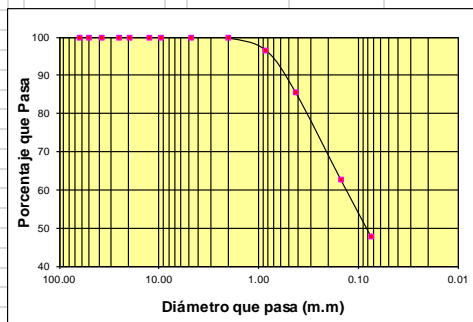
Tamiz No.	Tamiz m.m	Peso Retenido grs	% Retenido	% que pasa %
21/2	62.50	0.0	0.00	100.00
2	50.00	0.0	0.00	100.00
11/2	37.50	0.0	0.00	100.00
1"	25.00	0.0	0.00	100.00
3/4	19.50	0.0	0.00	100.00
1/2	12.50	0.0	0.00	100.00
3/8	9.50	0.0	0.00	100.00
4	4.76	0.0	0.00	100.00
10	2.00	1.3	0.28	99.72
20	0.85	14.7	3.13	96.60
40	0.43	52.1	11.08	85.52
100	0.15	107.9	22.94	62.58
200	0.074	70.3	14.95	47.63
Pasa 200		224.0	47.63	

Tara No.	3	5	8	11
W Tara + S. Hum.	47.96	48.03	44.53	48.50
W tara + S. Seco	39.90	40.28	37.91	41.05
W tara	20.93	20.51	20.79	20.73
W Suelo Seco	18.97	19.77	17.12	20.32
W Agua	8.06	7.75	6.62	7.45
Humedad %	42.49	39.20	38.67	36.66
No. de Golpes	11	22	27	35

**LIMITE PLASTICO** **NTC 1493**

Tara No.	41	43	
W tara + S Hum.	14.85	15.28	
W tara + S. Seco	13.59	13.95	
W tara	7.18	7.12	
W Suelo Seco	6.41	6.83	
W Agua	1.26	1.33	
Humedad %	19.66	19.47	19.56

W suelo seco : 470.30 grs



**GRAVA:** 0.00 **D10:** - **LIMITE LIQUIDO:** 38.50  
**ARENA:** 52.37 **D30:** - **LIMITE PLASTICO:** 19.56  
**FINOS:** 47.63 **D60:** 0.15 **INDICE PLASTICO:** 18.94  
**Cc:** - **Cu:** - **CLASIFICACION:** S.U.C.S. **SC**



**OBSERVACIONES:** Material areno arcilloso color marrón con partículas de material color blanco.

<b>ENSAYÓ</b>	ROMEL GALLARDO AMAYA
<b>REVISÓ</b>	AGUSTIN MACGREGOR TORRADO



**ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE PLASTICIDAD**

<b>PROYECTO</b>	: Aplicación del método de los factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa del Barrio San Fermín, Municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación.	<b>Director Proyecto:</b>	Msc. Wilfredo del Toro
<b>SITIO SONDEO</b>	: Ladera Sur - Terraza media - pie Talud	<b>Fecha :</b>	Julio 17 de 2013
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 3.0 - 5.0 m	<b>Realizó:</b>	Romel Gallardo Amaya
<b>MUESTRA</b>	: 4 - SONDEO 2		
W Tara + S. Hum.	: 132.38	<b>NTC 1495</b>	
W tara + S. Seco	: 124.97		
W tara	: 94.55		
W Suelo Seco	: 30.42		
W Agua	: 7.41		
<b>Humedad Natural %</b>	: 24.36		

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTERBERG)**

**LIMITE LIQUIDO** **NTC 1494**

Tara No.	67	70	72	75
W Tara + S. Hum.	42.87	40.75	42.53	48.78
W tara + S. Seco	37.03	35.01	37.17	42.51
W tara	19.66	16.36	18.83	19.91
W Suelo Seco	17.37	18.65	18.34	22.60
W Agua	5.84	5.74	5.36	6.27
Humedad %	33.62	30.78	29.23	27.74
No. de Golpes	12	19	30	38

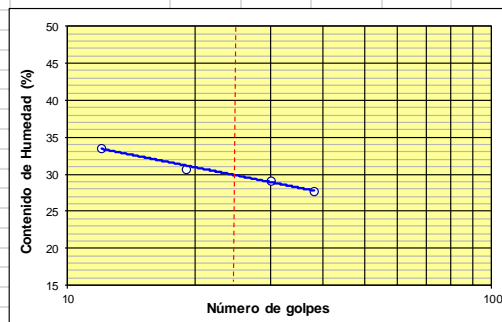
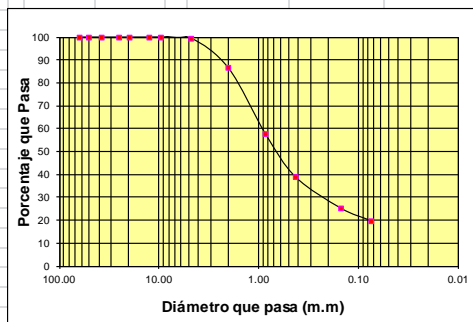
**LIMITE PLASTICO** **NTC 1493**

Tara No.	37	48	
W tara + S Hum.	15.01	14.58	
W tara + S. Seco	13.53	13.24	
W tara	7.19	7.42	
W Suelo Seco	6.34	5.82	
W Agua	1.48	1.34	
Humedad %	23.34	23.02	23.18

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (NTC 1522)**

Tamiz	Peso Retenido	%	% que pasa	
No.	m.m	grs	Retenido %	
21/2	62.50	0.0	0.00	100.00
2	50.00	0.0	0.00	100.00
11/2	37.50	0.0	0.00	100.00
1"	25.00	0.0	0.00	100.00
3/4	19.50	0.0	0.00	100.00
1/2	12.50	0.0	0.00	100.00
3/8	9.50	0.0	0.00	100.00
4	4.76	1.1	0.52	99.48
10	2.00	27.9	13.09	86.39
20	0.85	61.3	28.77	57.63
40	0.43	39.9	18.72	38.90
100	0.15	29.1	13.66	25.25
200	0.074	11.7	5.49	19.76
Pasa 200		42.1	19.76	

W suelo seco : 213.10 grs



<b>GRAVA:</b>	0.52	<b>D10:</b>	-	<b>LIMITE LIQUIDO:</b>	30.00
<b>ARENA:</b>	79.73	<b>D30:</b>	0.25	<b>LIMITE PLASTICO:</b>	23.18
<b>FINOS:</b>	19.76	<b>D60:</b>	0.92	<b>INDICE PLASTICO:</b>	6.82
<b>Cc:</b>	-	<b>Cu:</b>	-	<b>CLASIFICACION:</b>	S.U.C.S. SM



**OBSERVACIONES:** Material areno Limo Arcillos color marrón con partículas de material color blanco.  
A partir de 5 m y hasta la profundidad de 12 m se encuentra el mismo material con presencia de fragmentos de roca.  
De los materiales extraídos de la barrena se observa que el material anterior tiene intercalaciones de fragmentos de roca color blanco.

<b>ENSAYÓ</b>	ROMEL GALLARDO AMAYA
<b>REVISÓ</b>	AGUSTIN MACGREGOR TORRADO



**ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE PLASTICIDAD**

**PROYECTO** : Aplicación del método de los factores de Valoración en los Fenómenos de Remoción en Masa del Barrio San Fermín, Municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación. **Director Proyecto:** Msc. Wilfredo del Toro

**SITIO SONDEO** : Ladera Sur - Terraza media - Parte Alta Talud **Fecha :** Julio 22 de 2013  
**PROFUNDIDAD** : 0.0 - 1.5 m  
**MUESTRA** : 1 - SONDEO 3 **Realizó:** Romel Gallardo Amaya

W Tara + S. Hum. : 188.47 **NTC 1495**  
W tara + S. Seco : 175.54  
W tara : 92.56  
W Suelo Seco : 82.98  
W Agua : 12.93  
**Humedad Natural %** : 15.58

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTEBERG)**

**LIMITE LIQUIDO** **NTC 1494**

Tara No.	56	73	74	83
W Tara + S. Hum.	47.82	43.19	44.67	50.84
W tara + S. Seco	39.51	36.52	38.03	42.87
W tara	18.91	18.94	19.52	19.69
W Suelo Seco	20.60	17.58	18.51	23.18
W Agua	8.31	6.67	6.64	7.97
Humedad %	40.34	37.94	35.87	34.38
No. de Golpes	13	19	30	36

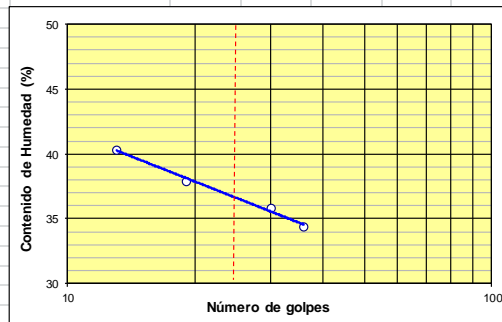
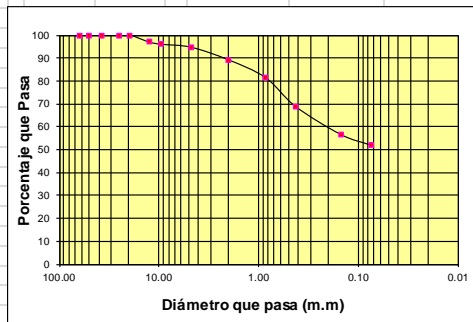
**LIMITE PLASTICO** **NTC 1493**

Tara No.	21	24		
W tara + S Hum.	17.20	16.41		
W tara + S. Seco	16.17	15.31		
W tara	11.76	10.51		
W Suelo Seco	4.41	4.80		
W Agua	1.03	1.10		
Humedad %	23.36	22.92		23.14

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (NTC 1522)**

Tamiz	Peso Retenido	%	% que pasa
No.	m.m	grs	Retenido %
21/2	62.50	0.0	0.00
2	50.00	0.0	0.00
11/2	37.50	0.0	0.00
1"	25.00	0.0	0.00
3/4	19.50	0.0	0.00
1/2	12.50	13.3	3.03
3/8	9.50	4.2	0.96
4	4.76	5.7	1.30
10	2.00	24.2	5.52
20	0.85	34.1	7.77
40	0.43	55.2	12.58
100	0.15	53.8	12.26
200	0.074	20.5	4.67
Pasa 200		227.8	51.91

W suelo seco : 438.80 grs



**GRAVA:** 5.29 **D10:** - **LIMITE LIQUIDO:** 36.50  
**ARENA:** 42.80 **D30:** - **LIMITE PLASTICO:** 23.14  
**FINOS:** 51.91 **D60:** 0.21 **INDICE PLASTICO:** 13.36  
**Cc:** - **Cu:** - **CLASIFICACION:** S.U.C.S. **CL**



**OBSERVACIONES:** Material Arcillo Arenoso de plasticidad media color marrón amarillo. Presencia de arenas. Presencia de partículas de color blanco y material color oxidado.

<b>ENSAYÓ</b>	ROMEL GALLARDO AMAYA
<b>REVISÓ</b>	AGUSTIN MACGREGOR TORRADO



**ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE PLASTICIDAD**

**PROYECTO** : Aplicación del método de los factores de Valoración en los Fenómenos de Remoción en Masa del Barrio San Fermín, Municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación. **Director Proyecto:** Msc. Wilfredo del Toro

**SITIO SONDEO** : Ladera Sur - Terraza media - pie Talud **Fecha :** Julio 12 de 2013  
**PROFUNDIDAD** : 1.5 - 2.5 m  
**MUESTRA** : 2 - SONDEO 3 **Realizó:** Romel Gallardo Amaya

W Tara + S. Hum. : 116.33 **NTC 1495**  
W tara + S. Seco : 112.51  
W tara : 83.22  
W Suelo Seco : 29.29  
W Agua : 3.82  
**Humedad Natural %** : 13.04

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTERBERG)**

**LIMITE LIQUIDO** **NTC 1494**

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (NTC 1522)**

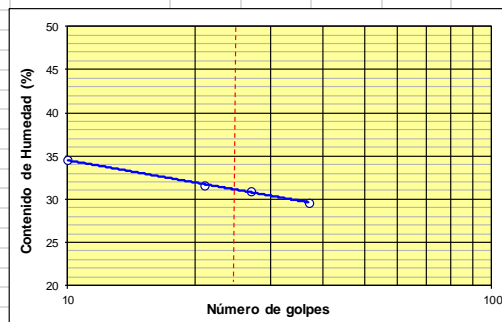
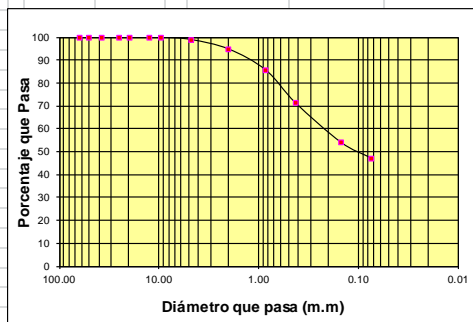
Tamiz No.	Tamiz m.m	Peso Retenido grs	% Retenido	% que pasa %
21/2	62.50	0.0	0.00	100.00
2	50.00	0.0	0.00	100.00
11/2	37.50	0.0	0.00	100.00
1"	25.00	0.0	0.00	100.00
3/4	19.50	0.0	0.00	100.00
1/2	12.50	0.0	0.00	100.00
3/8	9.50	0.0	0.00	100.00
4	4.76	2.2	1.03	98.97
10	2.00	8.8	4.13	94.83
20	0.85	19.4	9.11	85.72
40	0.43	30.7	14.42	71.30
100	0.15	36.6	17.19	54.11
200	0.074	14.7	6.90	47.21
Pasa 200		100.5	47.21	

Tara No.	27	28	31	36
W Tara + S. Hum.	41.89	42.17	41.29	40.88
W tara + S. Seco	35.80	36.45	35.83	35.82
W tara	18.15	18.36	18.19	18.71
W Suelo Seco	17.65	18.09	17.64	17.11
W Agua	6.09	5.72	5.46	5.06
Humedad %	34.50	31.62	30.95	29.57
No. de Golpes	10	21	27	37

**LIMITE PLASTICO** **NTC 1493**

Tara No.	41	43	
W tara + S Hum.	14.57	14.47	
W tara + S. Seco	13.54	13.49	
W tara	8.34	8.44	
W Suelo Seco	5.20	5.05	
W Agua	1.03	0.98	
Humedad %	19.81	19.41	19.61

W suelo seco : 212.90 grs



<b>GRAVA:</b>	1.03	<b>D10:</b>	-	<b>LIMITE LIQUIDO:</b>	31.00	
<b>ARENA:</b>	51.76	<b>D30:</b>	-	<b>LIMITE PLASTICO:</b>	19.61	
<b>FINOS:</b>	47.21	<b>D60:</b>	0.22	<b>INDICE PLASTICO:</b>	11.39	
<b>Cc:</b>	-	<b>Cu:</b>	-	<b>CLASIFICACION:</b>	S.U.C.S. <b>SC</b>	

**OBSERVACIONES:** Material Areno Arcilloso de baja plasticidad color marrón amarillo. Con presencia de material oxidado y partículas de color blanco.

<b>ENSAYÓ</b>	ROMEL GALLARDO AMAYA
<b>REVISÓ</b>	AGUSTIN MACGREGOR TORRADO



**ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE PLASTICIDAD**

**PROYECTO** : Aplicación del método de los factores de Valoración en los Fenómenos de Remoción en Masa del Barrio San Fermín, Municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación. **Director Proyecto:** Msc. Wilfredo del Toro

**SITIO SONDEO** : Ladera Sur - Terraza media - pie Talud **Fecha :** Julio 22 de 2013  
**PROFUNDIDAD** : 2.5 - 3.5 m  
**MUESTRA** : 3 - SONDEO 3 **Realizó:** Romel Gallardo Amaya

W Tara + S. Hum. : 204.42 **NTC 1495**  
W tara + S. Seco : 193.49  
W tara : 89.74  
W Suelo Seco : 103.75  
W Agua : 10.93  
**Humedad Natural %** : 10.53

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTERBERG)**

**LIMITE LIQUIDO** **NTC 1494**

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (NTC 1522)**

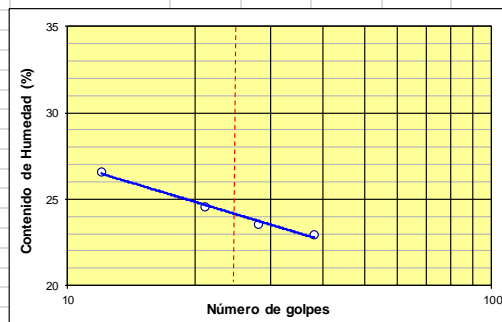
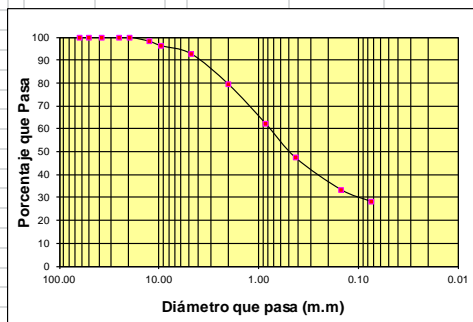
No.	Tamiz m.m	Peso Retenido grs	% Retenido	% que pasa %
21/2	62.50	0.0	0.00	100.00
2	50.00	0.0	0.00	100.00
11/2	37.50	0.0	0.00	100.00
1"	25.00	0.0	0.00	100.00
3/4	19.50	0.0	0.00	100.00
1/2	12.50	6.5	1.81	98.19
3/8	9.50	7.0	1.95	98.05
4	4.76	12.6	3.50	96.50
10	2.00	48.0	13.35	86.65
20	0.85	61.5	17.10	82.90
40	0.43	53.6	14.91	85.09
100	0.15	50.1	13.93	86.07
200	0.074	18.8	5.23	94.77
Pasa 200		101.5	28.23	

Tara No.	1	4	6	12
W Tara + S. Hum.	47.25	47.19	44.52	42.29
W tara + S. Seco	41.47	41.99	39.94	38.19
W tara	19.72	20.83	20.49	20.34
W Suelo Seco	21.75	21.16	19.45	17.85
W Agua	5.78	5.20	4.58	4.10
Humedad %	26.57	24.57	23.55	22.97
No. de Golpes	12	21	28	38

**LIMITE PLASTICO** **NTC 1493**

Tara No.	45	46	
W tara + S Hum.	14.21	14.80	
W tara + S. Seco	13.19	13.73	
W tara	7.13	7.42	
W Suelo Seco	6.06	6.31	
W Agua	1.02	1.07	
Humedad %	16.83	16.96	16.89

W suelo seco : 359.60 grs



**GRAVA:** 7.26 **D10:** - **LIMITE LIQUIDO:** 24.00  
**ARENA:** 64.52 **D30:** 0.10 **LIMITE PLASTICO:** 16.89  
**FINOS:** 28.23 **D60:** 0.78 **INDICE PLASTICO:** 7.11  
**Cc:** - **Cu:** - **CLASIFICACION:** S.U.C.S. **SC**



**OBSERVACIONES:** Material areno arcilloso color marrón con partículas de material color blanco. Entre 2.0 y 2.5 m fragmentos de roca color blanco-amarillo. Entre 3.0 m y 3.2 m el material se encuentra saturado.

<b>ENSAYÓ</b>	ROMEL GALLARDO AMAYA
<b>REVISÓ</b>	AGUSTIN MACGREGOR TORRADO



**ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE PLASTICIDAD**

**PROYECTO** : Aplicación del método de los factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa del Barrio San Fermín, Municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación. **Director Proyecto:** Msc. Wilfredo del Toro

**SITIO SONDEO** : Ladera Sur - Terraza media - pie Talud **Fecha :** Julio 23 de 2013  
**PROFUNDIDAD** : 3.5 - 4.5 m **Realizó:** Romel Gallardo Amaya  
**MUESTRA** : 4 - SONDEO 3

W Tara + S. Hum. : 198.52 **NTC 1495**  
W tara + S. Seco : 186.46  
W tara : 82.87  
W Suelo Seco : 103.59  
W Agua : 12.06  
**Humedad Natural %** : 11.64

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTERBERG)**

**LIMITE LIQUIDO** **NTC 1494**

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (NTC 1522)**

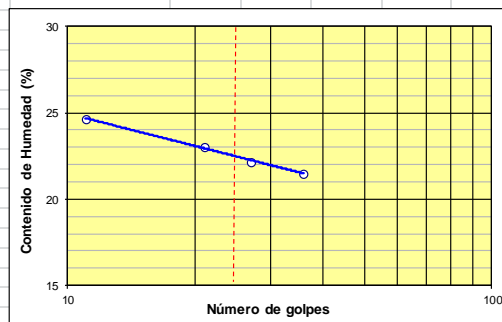
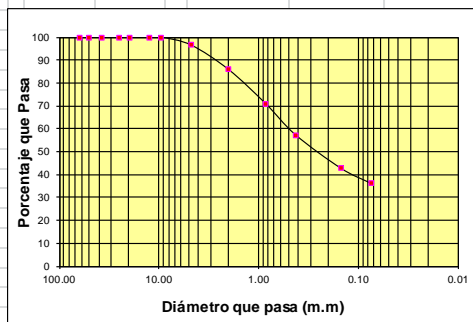
Tamiz No.	Tamiz m.m	Peso Retenido grs	% Retenido	% que pasa %
21/2	62.50	0.0	0.00	100.00
2	50.00	0.0	0.00	100.00
11/2	37.50	0.0	0.00	100.00
1"	25.00	0.0	0.00	100.00
3/4	19.50	0.0	0.00	100.00
1/2	12.50	0.0	0.00	100.00
3/8	9.50	0.0	0.00	100.00
4	4.76	13.6	3.44	96.56
10	2.00	42.3	10.69	85.87
20	0.85	58.8	14.86	71.01
40	0.43	54.1	13.68	57.33
100	0.15	57.7	14.59	42.75
200	0.074	26.3	6.65	36.10
Pasa 200		142.8	36.10	

Tara No.	59	67	70	72
W Tara + S. Hum.	46.48	45.24	41.49	47.43
W tara + S. Seco	41.03	40.45	36.93	42.37
W tara	18.93	19.66	16.36	18.83
W Suelo Seco	22.10	20.79	20.57	23.54
W Agua	5.45	4.79	4.56	5.06
Humedad %	24.66	23.04	22.17	21.50
No. de Golpes	11	21	27	36

**LIMITE PLASTICO** **NTC 1493**

Tara No.	17	20	
W tara + S Hum.	18.45	19.23	
W tara + S. Seco	17.34	18.16	
W tara	10.83	11.67	
W Suelo Seco	6.51	6.49	
W Agua	1.11	1.07	
Humedad %	17.05	16.49	16.77

W suelo seco : 395.60 grs



**GRAVA:** 3.44 **D10:** - **LIMITE LIQUIDO:** 22.50  
**ARENA:** 60.47 **D30:** - **LIMITE PLASTICO:** 16.77  
**FINOS:** 36.10 **D60:** 0.50 **INDICE PLASTICO:** 5.73  
**Cc:** - **Cu:** - **CLASIFICACION:** S.U.C.S. **SC-SM**



**OBSERVACIONES:** Material areno Limo Arcilloso color marrón amarillo con partículas de material color blanco entre 3.7 y 4.5 m se encuentran frangmento de roca color blanco - amarillo.

<b>ENSAYÓ</b>	ROMEL GALLARDO AMAYA
<b>REVISÓ</b>	AGUSTIN MACGREGOR TORRADO



**ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE PLASTICIDAD**

**PROYECTO** : Aplicación del método de los factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa del Barrio San Fermín, Municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación. **Director Proyecto:** Msc. Wilfredo del Toro

**SITIO SONDEO** : Ladera Sur - Terraza media - pie Talud **Fecha :** Julio 23 de 2013  
**PROFUNDIDAD** : 4.5 - 5.0 m **Realizó:** Romel Gallardo Amaya  
**MUESTRA** : 5 - SONDEO 3

W Tara + S. Hum. : 179.63 **NTC 1495**  
W tara + S. Seco : 168.20  
W tara : 82.46  
W Suelo Seco : 85.74  
W Agua : 11.43  
**Humedad Natural %** : 13.33

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTEBERG)**

**LIMITE LIQUIDO** **NTC 1494**

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (NTC 1522)**

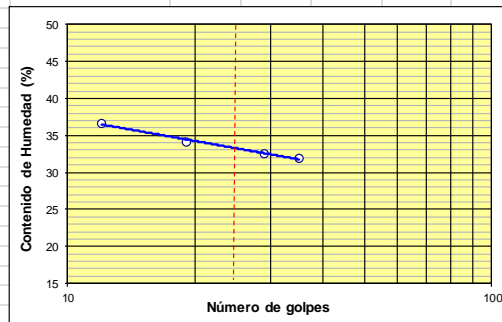
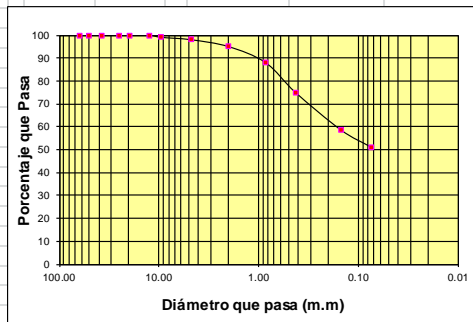
Tamiz No.	m.m	Peso Retenido grs	% Retenido	% que pasa %
21/2	62.50	0.0	0.00	100.00
2	50.00	0.0	0.00	100.00
11/2	37.50	0.0	0.00	100.00
1"	25.00	0.0	0.00	100.00
3/4	19.50	0.0	0.00	100.00
1/2	12.50	0.0	0.00	100.00
3/8	9.50	3.9	0.97	99.03
4	4.76	4.2	1.04	97.99
10	2.00	12.1	3.01	94.98
20	0.85	28.1	6.99	87.99
40	0.43	52.5	13.06	74.93
100	0.15	65.7	16.34	58.59
200	0.074	30.3	7.54	51.06
Pasa 200		205.3	51.06	

Tara No.	53	75	85	86
W Tara + S. Hum.	50.31	47.34	46.23	46.10
W tara + S. Seco	42.08	40.35	39.15	39.56
W tara	19.62	19.91	17.40	19.08
W Suelo Seco	22.46	20.44	21.75	20.48
W Agua	8.23	6.99	7.08	6.54
Humedad %	36.64	34.20	32.55	31.93
No. de Golpes	12	19	29	35

**LIMITE PLASTICO** **NTC 1493**

Tara No.	37	39	
W tara + S Hum.	14.54	15.27	
W tara + S. Seco	13.23	13.84	
W tara	7.20	7.26	
W Suelo Seco	6.03	6.58	
W Agua	1.31	1.43	
Humedad %	21.72	21.73	21.73

W suelo seco : 402.10 grs



**GRAVA:** 2.01 **D10:** - **LIMITE LIQUIDO:** 33.00  
**ARENA:** 46.93 **D30:** - **LIMITE PLASTICO:** 21.73  
**FINOS:** 51.06 **D60:** 0.18 **INDICE PLASTICO:** 11.27  
**Cc:** - **Cu:** - **CLASIFICACION:** S.U.C.S. **CL**



**OBSERVACIONES:** Material Areno Arcilloso color marrón amarillo con partículas de material color blanco y vetas de material color crema. Se encuentra en estado plástico, el material esta saturado.

<b>ENSAYÓ</b>	ROMEL GALLARDO AMAYA
<b>REVISÓ</b>	AGUSTIN MACGREGOR TORRADO



**ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE PLASTICIDAD**

**PROYECTO** : Aplicación del método de los factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa del Barrio San Fermín, Municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación. **Director Proyecto:** Msc. Wilfredo del Toro

**SITIO SONDEO** : Ladera Sur - Terraza media - pie Talud **Fecha :** Julio 23 de 2013  
**PROFUNDIDAD** : 5.0 - 6.0 m **Realizó:** Romel Gallardo Amaya  
**MUESTRA** : 6 - SONDEO 3

W Tara + S. Hum. : 203.91 **NTC 1495**  
W tara + S. Seco : 188.87  
W tara : 77.96  
W Suelo Seco : 110.91  
W Agua : 15.04  
**Humedad Natural %** : 13.56

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTEBERG)**

**LIMITE LIQUIDO** **NTC 1494**

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (NTC 1522)**

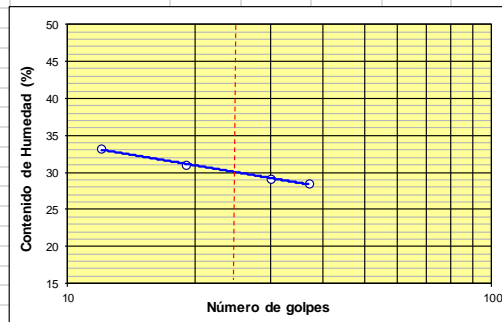
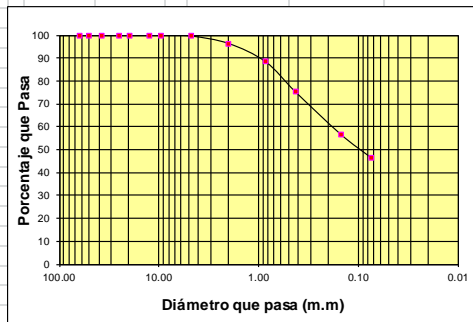
Tamiz		Peso Retenido grs	% Retenido	% que pasa %
No.	m.m			
21/2	62.50	0.0	0.00	100.00
2	50.00	0.0	0.00	100.00
11/2	37.50	0.0	0.00	100.00
1"	25.00	0.0	0.00	100.00
3/4	19.50	0.0	0.00	100.00
1/2	12.50	0.0	0.00	100.00
3/8	9.50	0.0	0.00	100.00
4	4.76	1.0	0.40	99.60
10	2.00	8.2	3.25	96.35
20	0.85	20.1	7.97	88.38
40	0.43	33.3	13.20	75.18
100	0.15	46.8	18.56	56.62
200	0.074	25.7	10.19	46.43
Pasa 200		117.1	46.43	

Tara No.	24	25	30	35
W Tara + S. Hum.	42.05	43.55	44.19	42.43
W tara + S. Seco	36.17	37.52	38.49	37.06
W tara	18.45	18.09	18.90	18.27
W Suelo Seco	17.72	19.43	19.59	18.79
W Agua	5.88	6.03	5.70	5.37
Humedad %	33.18	31.03	29.10	28.58
No. de Golpes	12	19	30	37

**LIMITE PLASTICO** **NTC 1493**

Tara No.	41	47		
W tara + S Hum.	14.04	13.54		
W tara + S. Seco	13.02	12.43		
W tara	8.33	7.12		
W Suelo Seco	4.69	5.31		
W Agua	1.02	1.11		
Humedad %	21.75	20.90		21.33

W suelo seco : 252.20 grs



**GRAVA:** 0.40 **D10:** - **LIMITE LIQUIDO:** 30.00  
**ARENA:** 53.17 **D30:** - **LIMITE PLASTICO:** 21.33  
**FINOS:** 46.43 **D60:** 0.18 **INDICE PLASTICO:** 8.67  
**Cc:** - **Cu:** - **CLASIFICACION:** S.U.C.S. **SC**



**OBSERVACIONES:** Material Areno Arcilloso color marrón amarillo con partículas de material color blanco y vetas de material color crema. Se encuentran fragmentos de roca de color amarillento con superficie oxidada.

<b>ENSAYÓ</b>	ROMEL GALLARDO AMAYA
<b>REVISÓ</b>	AGUSTIN MACGREGOR TORRADO



**ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE PLASTICIDAD**

**PROYECTO** : Aplicación del método de los factores de Valoración en los Fenómenos de Remoción en Masa del Barrio San Fermín, Municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación. **Director Proyecto:** Msc. Wilfredo del Toro

**SITIO SONDEO** : Ladera Sur - Terraza media - pie Talud **Fecha :** Julio 23 de 2013  
**PROFUNDIDAD** : 6.0 - 6.75 m  
**MUESTRA** : 7 - SONDEO 3 **Realizó:** Romel Gallardo Amaya

W Tara + S. Hum. : 221.98 **NTC 1495**  
W tara + S. Seco : 209.71  
W tara : 92.24  
W Suelo Seco : 117.47  
W Agua : 12.27  
**Humedad Natural %** : 10.45

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTEBERG)**

**LIMITE LIQUIDO** **NTC 1494**

Tara No.	3	5	9	11
W Tara + S. Hum.	38.12	38.42	43.46	40.27
W tara + S. Seco	34.31	34.67	38.91	36.45
W tara	20.91	20.51	20.82	20.72
W Suelo Seco	13.40	14.16	18.09	15.73
W Agua	3.81	3.75	4.55	3.82
Humedad %	28.43	26.48	25.15	24.28
No. de Golpes	12	21	31	40

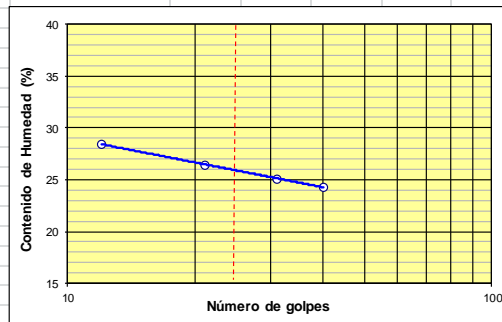
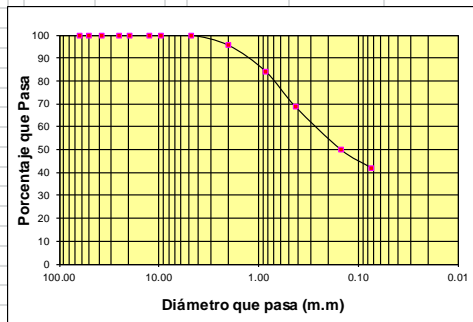
**LIMITE PLASTICO** **NTC 1493**

Tara No.	44	48	
W tara + S Hum.	13.70	14.54	
W tara + S. Seco	12.72	13.46	
W tara	7.17	7.42	
W Suelo Seco	5.55	6.04	
W Agua	0.98	1.08	
Humedad %	17.66	17.88	17.77

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (NTC 1522)**

No.	Tamiz m.m	Peso Retenido grs	% Retenido	% que pasa
				%
21/2	62.50	0.0	0.00	100.00
2	50.00	0.0	0.00	100.00
11/2	37.50	0.0	0.00	100.00
1"	25.00	0.0	0.00	100.00
3/4	19.50	0.0	0.00	100.00
1/2	12.50	0.0	0.00	100.00
3/8	9.50	0.0	0.00	100.00
4	4.76	0.0	0.00	100.00
10	2.00	11.4	4.49	95.51
20	0.85	28.8	11.35	84.15
40	0.43	39.3	15.49	68.66
100	0.15	47.4	18.68	49.98
200	0.074	20.1	7.92	42.06
Pasa 200		106.7	42.06	

W suelo seco : 253.70 grs



**GRAVA:** 0.00 **D10:** - **LIMITE LIQUIDO:** 26.00  
**ARENA:** 57.94 **D30:** - **LIMITE PLASTICO:** 17.77  
**FINOS:** 42.06 **D60:** 0.28 **INDICE PLASTICO:** 8.23  
**Cc:** - **Cu:** - **CLASIFICACION:** S.U.C.S. **SC**



**OBSERVACIONES:** Material Areno Arcilloso color marrón amarillo con partículas de material color blanco y vetas de material color crema. Se encuentran fragmentos de roca de color blanco amarillento igual material que aparece intercalado entre 2.5 a 3.0 m y entre 3.7 m y 4.5 m.

<b>ENSAYÓ</b>	ROMEL GALLARDO AMAYA
<b>REVISÓ</b>	AGUSTIN MACGREGOR TORRADO



**ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE PLASTICIDAD**

<b>PROYECTO</b>	: Aplicación del método de los factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa del Barrio San Fermín, Municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación.	<b>Director Proyecto:</b>	Msc. Wilfredo del Toro
<b>SITIO SONDEO</b>	: Ladera Sur - Terraza media - Parte Alta Talud	<b>Fecha :</b>	Julio 22 de 2013
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.0 - 1.0 m	<b>Realizó:</b>	Romel Gallardo Amaya
<b>MUESTRA</b>	: 1 - SONDEO 4		
W Tara + S. Hum.	: 189.36	<b>NTC 1495</b>	
W tara + S. Seco	: 171.00		
W tara	: 84.85		
W Suelo Seco	: 86.15		
W Agua	: 18.36		
<b>Humedad Natural %</b>	: 21.31		

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTEBERG)**

**LIMITE LIQUIDO** NTC 1494

Tara No.	1	4	6	12
W Tara + S. Hum.	45.18	46.07	46.57	47.33
W tara + S. Seco	37.38	38.69	39.24	39.99
W tara	19.72	20.83	20.49	20.34
W Suelo Seco	17.66	17.86	18.75	19.65
W Agua	7.80	7.38	7.33	7.34
Humedad %	44.17	41.32	39.09	37.35
No. de Golpes	12	19	29	40

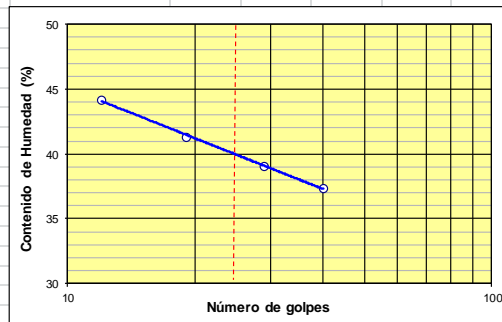
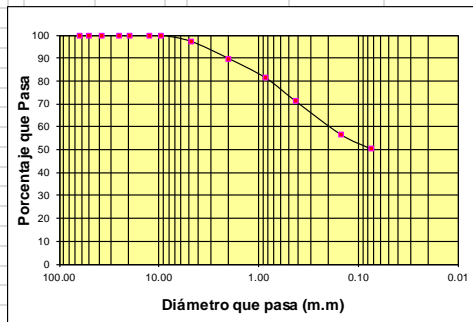
**LIMITE PLASTICO** NTC 1493

Tara No.	21	24	
W tara + S Hum.	17.78	16.50	
W tara + S. Seco	16.63	15.36	
W tara	11.76	10.51	
W Suelo Seco	4.87	4.85	
W Agua	1.15	1.14	
Humedad %	23.61	23.51	23.56

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (NTC 1522)**

Tamiz	Peso Retenido	%	% que pasa
No.	m.m	grs	Retenido %
21/2	62.50	0.0	0.00
2	50.00	0.0	0.00
11/2	37.50	0.0	0.00
1"	25.00	0.0	0.00
3/4	19.50	0.0	0.00
1/2	12.50	0.0	0.00
3/8	9.50	0.0	0.00
4	4.76	6.9	2.73
10	2.00	18.9	7.47
20	0.85	21.4	8.46
40	0.43	25.7	10.16
100	0.15	36.9	14.59
200	0.074	16.0	6.33
Pasa 200		127.1	50.26

W suelo seco : 252.90 grs



<b>GRAVA:</b>	2.73	<b>D10:</b>	-	<b>LIMITE LIQUIDO:</b>	40.00
<b>ARENA:</b>	47.01	<b>D30:</b>	-	<b>LIMITE PLASTICO:</b>	23.56
<b>FINOS:</b>	50.26	<b>D60:</b>	0.20	<b>INDICE PLASTICO:</b>	16.44
<b>Cc:</b>	-	<b>Cu:</b>	-	<b>CLASIFICACION:</b>	S.U.C.S. CL



**OBSERVACIONES:** Material arcillo Arenoso de plasticidad media color marrón amarillo. Presencia de fragmentos de roca correspondiente al dique de material cuarzoso que presenta la formación geológica del sector.

<b>ENSAYÓ</b>	ROMEL GALLARDO AMAYA
<b>REVISÓ</b>	AGUSTIN MACGREGOR TORRADO



**ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE PLASTICIDAD**

**PROYECTO** : Aplicación del método de los factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa del Barrio San Fermín, Municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación. **Director Proyecto:** Msc. Wilfredo del Toro

**SITIO SONDEO** : Ladera Sur - Terraza media - pie Talud **Fecha :** Julio 23 de 2013  
**PROFUNDIDAD** : 2.0 - 3.0 m **Realizó:** Romel Gallardo Amaya  
**MUESTRA** : 2 - SONDEO 4

W Tara + S. Hum. : 180.33 **NTC 1495**  
W tara + S. Seco : 161.68  
W tara : 91.04  
W Suelo Seco : 70.64  
W Agua : 18.65  
**Humedad Natural %** : 26.40

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTERBERG)**

**LIMITE LIQUIDO** **NTC 1494**

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (NTC 1522)**

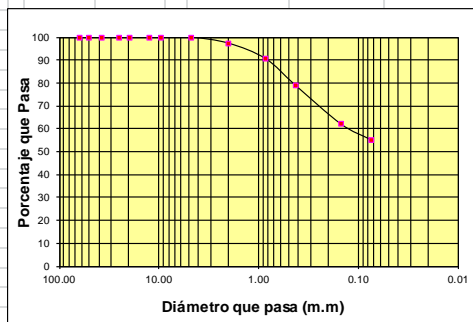
Tamiz No.	m.m	Peso Retenido grs	% Retenido	% que pasa %
21/2	62.50	0.0	0.00	100.00
2	50.00	0.0	0.00	100.00
11/2	37.50	0.0	0.00	100.00
1"	25.00	0.0	0.00	100.00
3/4	19.50	0.0	0.00	100.00
1/2	12.50	0.0	0.00	100.00
3/8	9.50	0.0	0.00	100.00
4	4.76	0.0	0.00	100.00
10	2.00	5.1	2.65	97.35
20	0.85	13.0	6.74	90.61
40	0.43	22.5	11.67	78.94
100	0.15	32.5	16.86	62.09
200	0.074	13.4	6.95	55.13
Pasa 200		106.3	55.13	

Tara No.	56	73	74	83
W Tara + S. Hum.	43.81	42.84	42.70	45.59
W tara + S. Seco	36.22	35.93	36.33	38.69
W tara	18.91	18.94	19.52	19.69
W Suelo Seco	17.31	16.99	16.81	19.00
W Agua	7.59	6.91	6.37	6.90
Humedad %	43.85	40.67	37.89	36.32
No. de Golpes	11	19	31	39

**LIMITE PLASTICO** **NTC 1493**

Tara No.	41	43	
W tara + S Hum.	15.25	15.51	
W tara + S. Seco	13.92	14.14	
W tara	8.34	8.44	
W Suelo Seco	5.58	5.70	
W Agua	1.33	1.37	
Humedad %	23.84	24.04	23.94

W suelo seco : 192.80 grs



<b>GRAVA:</b>	0.00	<b>D10:</b>	-	<b>LIMITE LIQUIDO:</b>	39.00
<b>ARENA:</b>	44.87	<b>D30:</b>	-	<b>LIMITE PLASTICO:</b>	23.94
<b>FINOS:</b>	55.13	<b>D60:</b>	0.14	<b>INDICE PLASTICO:</b>	15.06
<b>Cc:</b>	-	<b>Cu:</b>	-	<b>CLASIFICACION:</b>	S.U.C.S. <b>CL</b>



**OBSERVACIONES:** Material arcillo arenoso de plasticidad baja color marrón amarillo. Presencia de fragmentos de roca a 1.5 m, correspondientes al dique de material cuarzoso que presenta la formación geológica del sector.

<b>ENSAYÓ</b>	ROMEL GALLARDO AMAYA
<b>REVISÓ</b>	AGUSTIN MACGREGOR TORRADO



**ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE PLASTICIDAD**

**PROYECTO** : Aplicación del método de los factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa del Barrio San Fermín, Municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación. **Director Proyecto:** Msc. Wilfredo del Toro

**SITIO SONDEO** : Ladera Sur - Terraza media - pie Talud **Fecha :** Julio 22 de 2013  
**PROFUNDIDAD** : 3.0 - 6.0 m  
**MUESTRA** : 3 - SONDEO 4 **Realizó:** Romel Gallardo Amaya

W Tara + S. Hum. : 208.80 **NTC 1495**  
W tara + S. Seco : 188.52  
W tara : 84.52  
W Suelo Seco : 104.00  
W Agua : 20.28  
**Humedad Natural %** : 19.50

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTEBERG)**

**LIMITE LIQUIDO** **NTC 1494**

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (NTC 1522)**

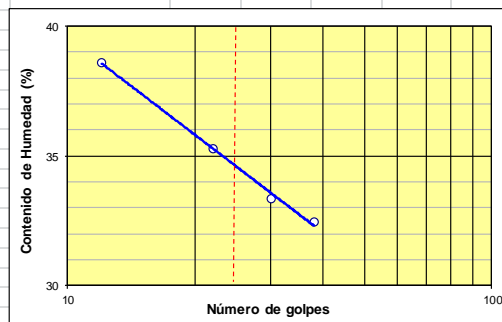
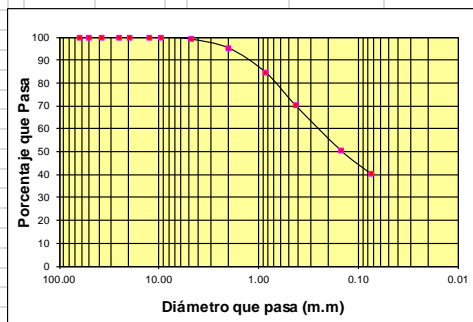
Tamiz No.	Tamiz m.m	Peso Retenido grs	% Retenido	% que pasa %
21/2	62.50	0.0	0.00	100.00
2	50.00	0.0	0.00	100.00
11/2	37.50	0.0	0.00	100.00
1"	25.00	0.0	0.00	100.00
3/4	19.50	0.0	0.00	100.00
1/2	12.50	0.0	0.00	100.00
3/8	9.50	0.0	0.00	100.00
4	4.76	4.4	0.88	99.12
10	2.00	19.3	3.86	95.26
20	0.85	53.0	10.60	84.65
40	0.43	72.2	14.45	70.21
100	0.15	98.4	19.69	50.52
200	0.074	51.5	10.30	40.22
Pasa 200		201.0	40.22	

Tara No.	27	28	31	36
W Tara + S. Hum.	43.21	46.45	47.41	45.18
W tara + S. Seco	36.23	39.12	40.10	38.69
W tara	18.15	18.36	18.19	18.71
W Suelo Seco	18.08	20.76	21.91	19.98
W Agua	6.98	7.33	7.31	6.49
Humedad %	38.61	35.31	33.36	32.48
No. de Golpes	12	22	30	38

**LIMITE PLASTICO** **NTC 1493**

Tara No.	45	46	
W tara + S Hum.	15.63	16.05	
W tara + S. Seco	14.07	14.47	
W tara	7.13	7.42	
W Suelo Seco	6.94	7.05	
W Agua	1.56	1.58	
Humedad %	22.48	22.41	22.44

W suelo seco : 499.80 grs



<b>GRAVA:</b>	0.88	<b>D10:</b>	-	<b>LIMITE LIQUIDO:</b>	34.50
<b>ARENA:</b>	58.90	<b>D30:</b>	-	<b>LIMITE PLASTICO:</b>	22.44
<b>FINOS:</b>	40.22	<b>D60:</b>	0.26	<b>INDICE PLASTICO:</b>	12.06
<b>Cc:</b>	-	<b>Cu:</b>	-	<b>CLASIFICACION:</b>	S.U.C.S. <b>SC</b>



**OBSERVACIONES:** Material areno arcilloso color marrón con partículas de material color blanco. Fragmentos de roca color blanco-amarillo correspondientes a dique cuarzoso.

<b>ENSAYÓ</b>	ROMEL GALLARDO AMAYA
<b>REVISÓ</b>	AGUSTIN MACGREGOR TORRADO



**ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE PLASTICIDAD**

**PROYECTO** : Aplicación del método de los factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa del Barrio San Fermín, Municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación. **Director Proyecto:** Msc. Wilfredo del Toro

**SITIO SONDEO** : Ladera Sur - Terraza media - pie Talud **Fecha :** Julio 23 de 2013  
**PROFUNDIDAD** : 6.0 - 6.8 m, 7.0 - 7.5 m y 8.0 - 8.5 m  
**MUESTRA** : 4 - SONDEO 4 **Realizó:** Romel Gallardo Amaya

W Tara + S. Hum. : 116.64 **NTC 1495**  
W tara + S. Seco : 109.68  
W tara : 84.87  
W Suelo Seco : 24.81  
W Agua : 6.96  
**Humedad Natural %** : 28.05

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTERBERG)**

**LIMITE LIQUIDO** **NTC 1494**

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (NTC 1522)**

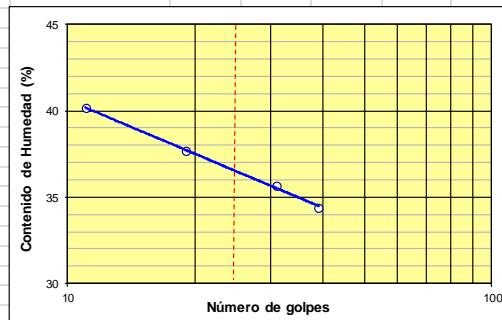
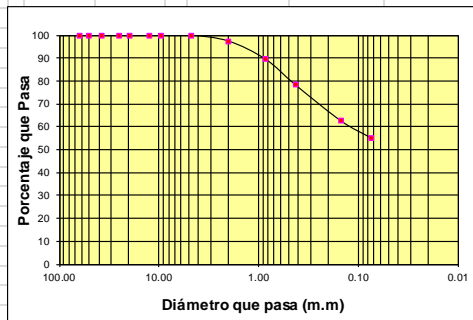
Tamiz No.	Tamiz m.m	Peso Retenido grs	% Retenido	% que pasa %
21/2	62.50	0.0	0.00	100.00
2	50.00	0.0	0.00	100.00
11/2	37.50	0.0	0.00	100.00
1"	25.00	0.0	0.00	100.00
3/4	19.50	0.0	0.00	100.00
1/2	12.50	0.0	0.00	100.00
3/8	9.50	0.0	0.00	100.00
4	4.76	0.0	0.00	100.00
10	2.00	11.8	2.60	97.40
20	0.85	36.0	7.92	89.48
40	0.43	51.1	11.24	78.24
100	0.15	71.2	15.67	62.57
200	0.074	34.1	7.50	55.07
Pasa 200		250.3	55.07	

Tara No.	59	67	70	72
W Tara + S. Hum.	46.04	41.73	42.96	46.25
W tara + S. Seco	38.27	35.69	35.97	39.23
W tara	18.93	19.66	16.36	18.83
W Suelo Seco	19.34	16.03	19.61	20.40
W Agua	7.77	6.04	6.99	7.02
Humedad %	40.18	37.68	35.65	34.41
No. de Golpes	11	19	31	39

**LIMITE PLASTICO** **NTC 1493**

Tara No.	17	20	
W tara + S Hum.	18.18	18.83	
W tara + S. Seco	16.84	17.51	
W tara	10.84	11.67	
W Suelo Seco	6.00	5.84	
W Agua	1.34	1.32	
Humedad %	22.33	22.60	22.47

W suelo seco : 454.50 grs



**GRAVA:** 0.00 **D10:** - **LIMITE LIQUIDO:** 36.50  
**ARENA:** 44.93 **D30:** - **LIMITE PLASTICO:** 22.47  
**FINOS:** 55.07 **D60:** 0.13 **INDICE PLASTICO:** 14.03  
**Cc:** - **Cu:** - **CLASIFICACION:** S.U.C.S. **CL**



**OBSERVACIONES:** Material arcillo arenoso color marrón amarillo con partículas de material color blanco. El material se encuentra saturado. El material a la derecha de la línea roja esta entre 6.8 y 7.0 m

<b>ENSAYÓ</b>	ROMEL GALLARDO AMAYA
<b>REVISÓ</b>	AGUSTIN MACGREGOR TORRADO



**ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE PLASTICIDAD**

**PROYECTO** : Aplicación del método de los factores de Valoración en los Fenómenos de Remoción en Masa del Barrio San Fermín, Municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación. **Director Proyecto:** Msc. Wilfredo del Toro

**SITIO SONDEO** : Ladera Sur - Terraza media - pie Talud **Fecha :** Julio 24 de 2013  
**PROFUNDIDAD** : 6.8 - 7.0 m **Realizó:** Romel Gallardo Amaya  
**MUESTRA** : 6 - SONDEO 4

W Tara + S. Hum. : 164.68 **NTC 1495**  
W tara + S. Seco : 152.53  
W tara : 84.46  
W Suelo Seco : 68.07  
W Agua : 12.15  
**Humedad Natural %** : 17.85

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTEBERG)**

**LIMITE LIQUIDO** **NTC 1494**

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (NTC 1522)**

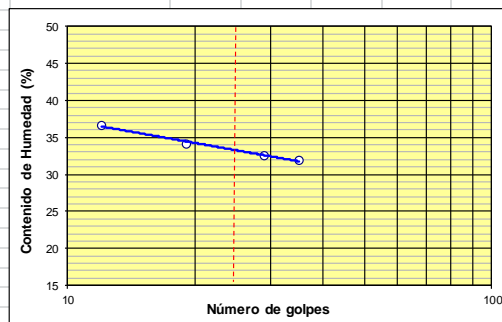
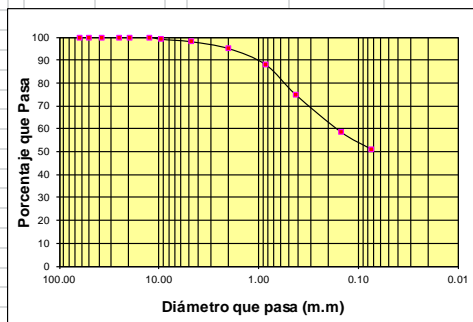
Tamiz No.	m.m	Peso Retenido grs	% Retenido	% que pasa %
21/2	62.50	0.0	0.00	100.00
2	50.00	0.0	0.00	100.00
11/2	37.50	0.0	0.00	100.00
1"	25.00	0.0	0.00	100.00
3/4	19.50	0.0	0.00	100.00
1/2	12.50	0.0	0.00	100.00
3/8	9.50	3.9	0.97	99.03
4	4.76	4.2	1.04	97.99
10	2.00	12.1	3.01	94.98
20	0.85	28.1	6.99	87.99
40	0.43	52.5	13.06	74.93
100	0.15	65.7	16.34	58.59
200	0.074	30.3	7.54	51.06
Pasa 200		205.3	51.06	

Tara No.	53	75	85	86
W Tara + S. Hum.	50.31	47.34	46.23	46.10
W tara + S. Seco	42.08	40.35	39.15	39.56
W tara	19.62	19.91	17.40	19.08
W Suelo Seco	22.46	20.44	21.75	20.48
W Agua	8.23	6.99	7.08	6.54
Humedad %	36.64	34.20	32.55	31.93
No. de Golpes	12	19	29	35

**LIMITE PLASTICO** **NTC 1493**

Tara No.	37	39		
W tara + S Hum.	14.54	15.27		
W tara + S. Seco	13.23	13.84		
W tara	7.20	7.26		
W Suelo Seco	6.03	6.58		
W Agua	1.31	1.43		
Humedad %	21.72	21.73		21.73

W suelo seco : 402.10 grs



**GRAVA:** 2.01 **D10:** - **LIMITE LIQUIDO:** 33.00  
**ARENA:** 46.93 **D30:** - **LIMITE PLASTICO:** 21.73  
**FINOS:** 51.06 **D60:** 0.18 **INDICE PLASTICO:** 11.27  
**Cc:** - **Cu:** - **CLASIFICACION:** S.U.C.S. **CL**



**OBSERVACIONES:** Material Areno Arcilloso color marrón amarillo con partículas de material color blanco y vetas de material color crema. El material esta saturado, se disgrega con presión de los dedos. Es el material a la derecha de la línea roja.

<b>ENSAYÓ</b>	ROMEL GALLARDO AMAYA
<b>REVISÓ</b>	AGUSTIN MACGREGOR TORRADO



**ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE PLASTICIDAD**

<b>PROYECTO</b>	: Aplicación del método de los factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa del Barrio San Fermín, Municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación.	<b>Director Proyecto:</b>	Msc. Wilfredo del Toro
<b>SITIO SONDEO</b>	: Ladera Sur - Terraza media - pie Talud	<b>Fecha :</b>	Julio 24 de 2013
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 7.5 - 7.8 m	<b>Realizó:</b>	Romel Gallardo Amaya
<b>MUESTRA</b>	: 6 - SONDEO 4		
W Tara + S. Hum.	: NTC 1495		
W tara + S. Seco	:		
W tara	:		
W Suelo Seco	:		
W Agua	:		
<b>Humedad Natural %</b>	:		

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTERBERG)**

**LIMITE LIQUIDO** NTC 1494

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (NTC 1522)**

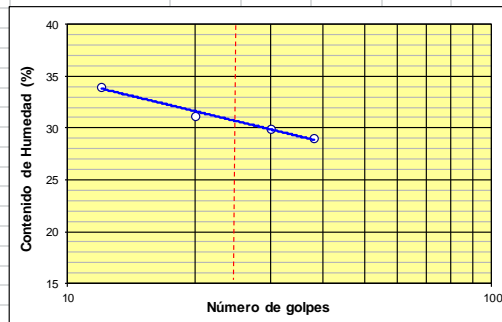
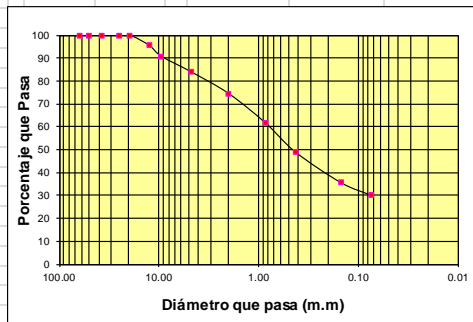
Tamiz No.	m.m	Peso Retenido grs	% Retenido	% que pasa %
21/2	62.50	0.0	0.00	100.00
2	50.00	0.0	0.00	100.00
11/2	37.50	0.0	0.00	100.00
1"	25.00	0.0	0.00	100.00
3/4	19.50	0.0	0.00	100.00
1/2	12.50	8.7	4.48	95.52
3/8	9.50	9.1	4.68	90.84
4	4.76	13.3	6.84	84.00
10	2.00	18.4	9.47	74.54
20	0.85	25.1	12.91	61.63
40	0.43	24.7	12.71	48.92
100	0.15	25.9	13.32	35.60
200	0.074	10.8	5.56	30.04
Pasa 200		58.4	30.04	

Tara No.	53	75	85	86
W Tara + S. Hum.	44.01	42.23	40.09	41.12
W tara + S. Seco	37.82	36.92	34.87	36.16
W tara	19.62	19.91	17.40	19.08
W Suelo Seco	18.20	17.01	17.47	17.08
W Agua	6.19	5.31	5.22	4.96
Humedad %	34.01	31.22	29.88	29.04
No. de Golpes	12	20	30	38

**LIMITE PLASTICO** NTC 1493

Tara No.	37	39		
W tara + S Hum.	13.63	14.13		
W tara + S. Seco	12.52	12.94		
W tara	7.19	7.25		
W Suelo Seco	5.33	5.69		
W Agua	1.11	1.19		
Humedad %	20.83	20.91		20.87

W suelo seco : 194.40 grs



<b>GRAVA:</b>	16.00	<b>D10:</b>	-	<b>LIMITE LIQUIDO:</b>	31.00
<b>ARENA:</b>	53.96	<b>D30:</b>	-	<b>LIMITE PLASTICO:</b>	20.87
<b>FINOS:</b>	30.04	<b>D60:</b>	0.78	<b>INDICE PLASTICO:</b>	10.13
<b>Cc:</b>	-	<b>Cu:</b>	-	<b>CLASIFICACION:</b>	S.U.C.S. <b>SC</b>



**OBSERVACIONES:** Material Areno Arcilloso color marrón amarillo con fragmentos de roca color blanco y vetas de material color crema. El material se encuentra saturado. Los fragmentos corresponden a los diques de material cuarzoso.

<b>ENSAYÓ</b>	ROMEL GALLARDO AMAYA
<b>REVISÓ</b>	AGUSTIN MACGREGOR TORRADO



**ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE PLASTICIDAD**

<b>PROYECTO</b>	: Aplicación del método de los factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa del Barrio San Fermín, Municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación.	<b>Director Proyecto:</b>	Msc. Wilfredo del Toro
<b>SITIO SONDEO</b>	: Ladera Sur - Terraza media - pie Talud	<b>Fecha :</b>	Julio 24 de 2013
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 8.5 - 9.0 m	<b>Realizó:</b>	Romel Gallardo Amaya
<b>MUESTRA</b>	: 7 - SONDEO 4		
W Tara + S. Hum.	: 181.47	<b>NTC 1495</b>	
W tara + S. Seco	: 174.28		
W tara	: 94.60		
W Suelo Seco	: 79.68		
W Agua	: 7.19		
<b>Humedad Natural %</b>	: 9.02		

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTERBERG)**

**LIMITE LIQUIDO** **NTC 1494**

Tara No.	24	25	30	35
W Tara + S. Hum.	42.60	41.01	40.80	41.32
W tara + S. Seco	37.46	36.42	36.54	36.95
W tara	18.45	18.09	18.90	18.27
W Suelo Seco	19.01	18.33	17.64	18.68
W Agua	5.14	4.59	4.26	4.37
Humedad %	27.04	25.04	24.15	23.39
No. de Golpes	10	21	30	39

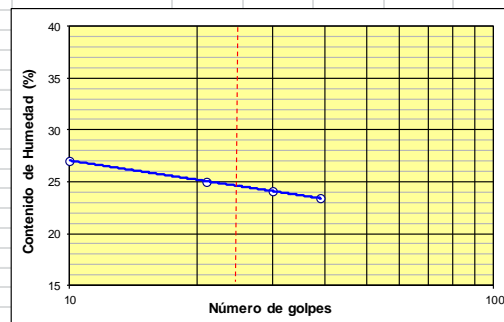
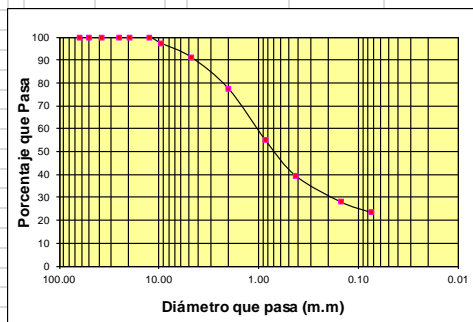
**LIMITE PLASTICO** **NTC 1493**

Tara No.	41	47		
W tara + S Hum.	16.05	15.32		
W tara + S. Seco	14.81	14.05		
W tara	8.33	7.12		
W Suelo Seco	6.48	6.93		
W Agua	1.24	1.27		
Humedad %	19.14	18.33		18.73

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (NTC 1522)**

Tamiz		Peso Retenido	%	% que pasa
No.	m.m	grs	Retenido	%
21/2	62.50	0.0	0.00	100.00
2	50.00	0.0	0.00	100.00
11/2	37.50	0.0	0.00	100.00
1"	25.00	0.0	0.00	100.00
3/4	19.50	0.0	0.00	100.00
1/2	12.50	0.0	0.00	100.00
3/8	9.50	6.1	2.66	97.34
4	4.76	13.9	6.06	91.28
10	2.00	31.7	13.82	77.45
20	0.85	51.7	22.55	54.91
40	0.43	35.4	15.44	39.47
100	0.15	26.3	11.47	28.00
200	0.074	10.6	4.62	23.38
Pasa 200		53.6	23.38	

W suelo seco : 229.30 grs



<b>GRAVA:</b>	8.72	<b>D10:</b>	-	<b>LIMITE LIQUIDO:</b>	25.00	
<b>ARENA:</b>	67.90	<b>D30:</b>	0.19	<b>LIMITE PLASTICO:</b>	18.73	
<b>FINOS:</b>	23.38	<b>D60:</b>	1.10	<b>INDICE PLASTICO:</b>	6.27	
<b>Cc:</b>	-	<b>Cu:</b>	-	<b>CLASIFICACION:</b>	S.U.C.S. SC-SM	

**OBSERVACIONES:** Material areno arcillo-limoso de color blanco y amarillo claro, cooresponde a fragmentos de roca del dique presente en la formación geológica del sector de estudio.

<b>ENSAYÓ</b>	ROMEL GALLARDO AMAYA
<b>REVISÓ</b>	AGUSTIN MACGREGOR TORRADO



**ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE PLASTICIDAD**

**PROYECTO** : Aplicación del método de los factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa del Barrio San Fermín, Municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación. **Director Proyecto:** Msc. Wilfredo del Toro

**SITIO SONDEO** : Ladera Sur - Terraza media - Parte Alta Talud **Fecha :** Julio 16 de 2013

**PROFUNDIDAD** : 0.0 - 1.0 m

**MUESTRA** : 1 - SONDEO 5 **Realizó:** Romel Gallardo Amaya

W Tara + S. Hum. : 121.48 **NTC 1495**  
W tara + S. Seco : 115.26  
W tara : 86.47  
W Suelo Seco : 28.79  
W Agua : 6.22  
**Humedad Natural % :** 21.60

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTERBERG)**

**LIMITE LIQUIDO** **NTC 1494**

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (NTC 1522)**

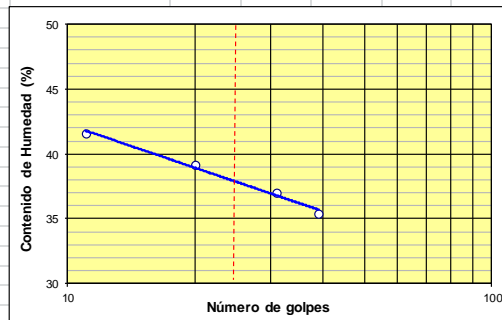
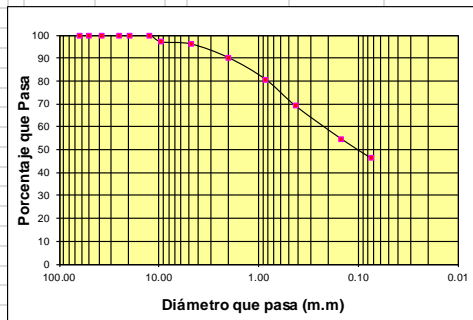
Tamiz No.	Tamiz m.m	Peso Retenido grs	% Retenido	% que pasa %
21/2	62.50	0.0	0.00	100.00
2	50.00	0.0	0.00	100.00
11/2	37.50	0.0	0.00	100.00
1"	25.00	0.0	0.00	100.00
3/4	19.50	0.0	0.00	100.00
1/2	12.50	0.0	0.00	100.00
3/8	9.50	4.7	2.93	97.07
4	4.76	1.5	0.93	96.14
10	2.00	9.6	5.98	90.16
20	0.85	15.2	9.46	80.70
40	0.43	18.6	11.58	69.12
100	0.15	23.0	14.32	54.79
200	0.074	13.7	8.53	46.26
Pasa 200		74.3	46.26	

Tara No.	3	5	6	8
W Tara + S. Hum.	44.17	46.18	42.19	40.66
W tara + S. Seco	37.34	38.96	36.33	35.47
W tara	20.93	20.53	20.50	20.81
W Suelo Seco	16.41	18.43	15.83	14.66
W Agua	6.83	7.22	5.86	5.19
Humedad %	41.62	39.18	37.02	35.40
No. de Golpes	11	20	31	39

**LIMITE PLASTICO** **NTC 1493**

Tara No.	47	48	
W tara + S Hum.	14.06	14.26	
W tara + S. Seco	12.78	12.99	
W tara	7.11	7.42	
W Suelo Seco	5.67	5.57	
W Agua	1.28	1.27	
Humedad %	22.57	22.80	22.69

W suelo seco : 160.60 grs



<b>GRAVA:</b>	3.86	<b>D10:</b>	-	<b>LIMITE LIQUIDO:</b>	38.00
<b>ARENA:</b>	49.88	<b>D30:</b>	-	<b>LIMITE PLASTICO:</b>	22.69
<b>FINOS:</b>	46.26	<b>D60:</b>	0.20	<b>INDICE PLASTICO:</b>	15.31
<b>Cc:</b>	-	<b>Cu:</b>	-	<b>CLASIFICACION:</b>	S.U.C.S. <b>SC</b>



**OBSERVACIONES:** Material Areno Arcilloso de plasticidad baja color marrón amarillo. Presencia de partículas de color blanco. Corresponde a material depositado al pie del talud.

<b>ENSAYÓ</b>	ROMEL GALLARDO AMAYA
<b>REVISÓ</b>	AGUSTIN MACGREGOR TORRADO



**ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE PLASTICIDAD**

**PROYECTO** : Aplicación del método de los factores de Valoración en los Fenómenos de Remoción en Masa del Barrio San Fermín, Municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación. **Director Proyecto:** Msc. Wilfredo del Toro

**SITIO SONDEO** : Ladera Sur - Terraza media - pie Talud **Fecha :** Julio 24 de 2013  
**PROFUNDIDAD** : 2.0 - 2.2 m (S#5) y 7.5 - 7.8 m (S#4)  
**MUESTRA** : 2 - SONDEO 5 **Realizó:** Romel Gallardo Amaya

W Tara + S. Hum. : 110.42 **NTC 1495**  
W tara + S. Seco : 106.85  
W tara : 82.58  
W Suelo Seco : 24.27  
W Agua : 3.57  
**Humedad Natural %** : 14.71

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTEBERG)**

**LIMITE LIQUIDO** **NTC 1494**

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (NTC 1522)**

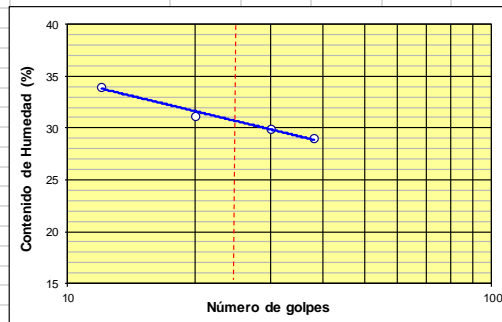
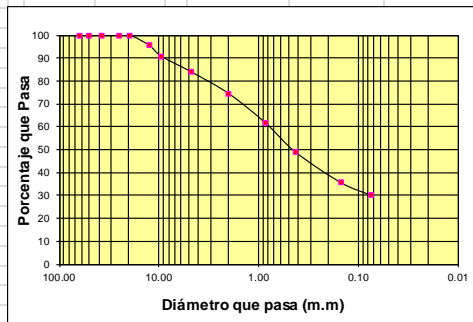
Tamiz No.	Tamiz m.m	Peso Retenido grs	% Retenido	% que pasa %
21/2	62.50	0.0	0.00	100.00
2	50.00	0.0	0.00	100.00
11/2	37.50	0.0	0.00	100.00
1"	25.00	0.0	0.00	100.00
3/4	19.50	0.0	0.00	100.00
1/2	12.50	8.7	4.48	95.52
3/8	9.50	9.1	4.68	90.84
4	4.76	13.3	6.84	84.00
10	2.00	18.4	9.47	74.54
20	0.85	25.1	12.91	61.63
40	0.43	24.7	12.71	48.92
100	0.15	25.9	13.32	35.60
200	0.074	10.8	5.56	30.04
Pasa 200		58.4	30.04	

Tara No.	53	75	85	86
W Tara + S. Hum.	44.01	42.23	40.09	41.12
W tara + S. Seco	37.82	36.92	34.87	36.16
W tara	19.62	19.91	17.40	19.08
W Suelo Seco	18.20	17.01	17.47	17.08
W Agua	6.19	5.31	5.22	4.96
Humedad %	34.01	31.22	29.88	29.04
No. de Golpes	12	20	30	38

**LIMITE PLASTICO** **NTC 1493**

Tara No.	37	39		
W tara + S Hum.	13.63	14.13		
W tara + S. Seco	12.52	12.94		
W tara	7.19	7.25		
W Suelo Seco	5.33	5.69		
W Agua	1.11	1.19		
Humedad %	20.83	20.91		20.87

W suelo seco : 194.40 grs



<b>GRAVA:</b>	16.00	<b>D10:</b>	-	<b>LIMITE LIQUIDO:</b>	31.00
<b>ARENA:</b>	53.96	<b>D30:</b>	-	<b>LIMITE PLASTICO:</b>	20.87
<b>FINOS:</b>	30.04	<b>D60:</b>	0.78	<b>INDICE PLASTICO:</b>	10.13
<b>Cc:</b>	-	<b>Cu:</b>	-	<b>CLASIFICACION:</b>	S.U.C.S. <b>SC</b>



**OBSERVACIONES:** Material Areno Arcilloso color marrón amarillo con fragmentos de roca color blanco y vetas de material color crema. El material se encuentra saturado. Los fragmentos corresponden a los diques de material cuarzoso.

<b>ENSAYÓ</b>	ROMEL GALLARDO AMAYA
<b>REVISÓ</b>	AGUSTIN MACGREGOR TORRADO



**ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE PLASTICIDAD**

<b>PROYECTO</b>	: Aplicación del método de los factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa del Barrio San Fermín, Municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación.	<b>Director Proyecto:</b>	Msc. Wilfredo del Toro
<b>SITIO SONDEO</b>	: Ladera Sur - Terraza media - pie Talud	<b>Fecha :</b>	Julio 23 de 2013
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 2.0 - 3.0 m	<b>Realizó:</b>	Romel Gallardo Amaya
<b>MUESTRA</b>	: 2 - SONDEO 5		
W Tara + S. Hum.	: 121.67	<b>NTC 1495</b>	
W tara + S. Seco	: 116.15		
W tara	: 82.31		
W Suelo Seco	: 33.84		
W Agua	: 5.52		
<b>Humedad Natural %</b>	: 16.31		

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTERBERG)**

**LIMITE LIQUIDO** **NTC 1494**

Tara No.	24	25	27	28
W Tara + S. Hum.	44.67	42.28	45.56	41.98
W tara + S. Seco	38.58	37.22	39.93	37.27
W tara	18.47	18.11	18.16	18.37
W Suelo Seco	20.11	19.11	21.77	18.90
W Agua	6.09	5.06	5.63	4.71
Humedad %	30.28	26.48	25.86	24.92
No. de Golpes	10	20	27	38

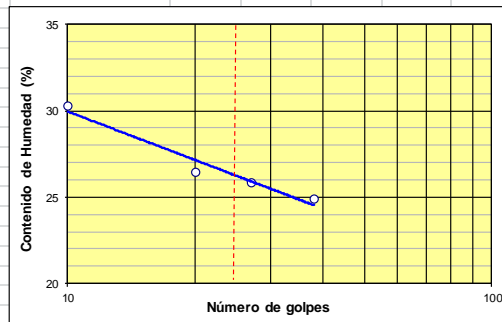
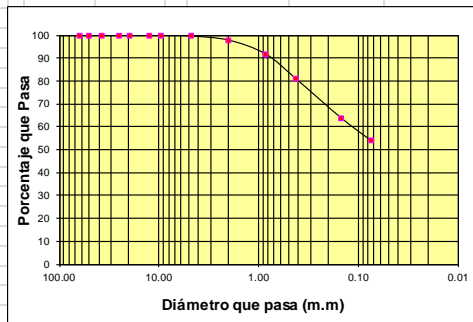
**LIMITE PLASTICO** **NTC 1493**

Tara No.	45	46	
W tara + S Hum.	14.52	15.89	
W tara + S. Seco	13.35	14.56	
W tara	7.13	7.42	
W Suelo Seco	6.22	7.14	
W Agua	1.17	1.33	
Humedad %	18.81	18.63	18.72

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (NTC 1522)**

Tamiz No.	m.m	Peso Retenido grs	% Retenido	% que pasa %
21/2	62.50	0.0	0.00	100.00
2	50.00	0.0	0.00	100.00
11/2	37.50	0.0	0.00	100.00
1"	25.00	0.0	0.00	100.00
3/4	19.50	0.0	0.00	100.00
1/2	12.50	0.0	0.00	100.00
3/8	9.50	0.0	0.00	100.00
4	4.76	0.8	0.40	99.60
10	2.00	3.6	1.78	97.83
20	0.85	12.2	6.03	91.80
40	0.43	21.6	10.67	81.13
100	0.15	34.8	17.19	63.93
200	0.074	20.3	10.03	53.90
Pasa 200		109.1	53.90	

W suelo seco : 202.40 grs



<b>GRAVA:</b>	0.40	<b>D10:</b>	-	<b>LIMITE LIQUIDO:</b>	26.50
<b>ARENA:</b>	45.70	<b>D30:</b>	-	<b>LIMITE PLASTICO:</b>	18.72
<b>FINOS:</b>	53.90	<b>D60:</b>	0.14	<b>INDICE PLASTICO:</b>	7.78
<b>Cc:</b>	-	<b>Cu:</b>	-	<b>CLASIFICACION:</b>	S.U.C.S. <b>CL</b>



**OBSERVACIONES:** Material arcillo arenoso de plasticidad baja color marrón amarillo. A la prof. de 2.65 m se tiene el material perteneciente al saprolito.

<b>ENSAYÓ</b>	ROMEL GALLARDO AMAYA
<b>REVISÓ</b>	AGUSTIN MACGREGOR TORRADO



**GRAVEDAD ESPECIFICA**

Localización	Ladera principal Barrio San Fermín - Taludes 1 y 2 - Municipio de Ocaña N.S.	Sondeo	1
Descripción	Material arcillo arenoso color marrón-amarillo, presencia de minerales color blanco.	Muestra N°	1
Proyecto	Aplicación del método de los Factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa	Profundidad	1.0 -3.0 m
Solicitante	Romel Gallardo Amaya.	Fecha	Julio 16 de 2013
		Norma	INV E-128-07 INV E-223-07

**GRAVEDAD ESPECIFICA FRACCION FINA I.N.V. E-128-07**

PRUEBA N°	1	2	3
Peso del Pignómetro [W] (gr)	151.8	158.5	152.2
Peso suelo seco horno [Wo] (gr)	66.10	66.50	67.10
Peso Pignómetro+agua+suelo [W1] (gr)	703.10	713.40	699.30
Peso Pignómetro+agua [W2] (gr)	661.40	671.70	657.10
Volumen Pignómetro [V] (cm³)	500.0	500.0	500.0
Temperatura agua en el ensayo (T°C)	24°C	24°C	24°C
Factor de corrección de temperatura [K]	0.9991	0.9991	0.9991
Gravedad Específica [Ss]	2.707	2.679	2.692
Gravedad Específica promedio (Ss prom.)	2.693		

Aplicación:  $Ss = [Wo \cdot K] / [W2 + Wo - W1]$

**GRAVEDAD ESPECIFICA FRACCION GRUESA I.N.V. E-223-07**

PRUEBA N°			
Peso Muestra Ret. Tamiz N°8 Saturada Superficialmente Seca en el aire (gr) [B]			
Peso Muestra Ret. Tamiz N°8 Saturada y Sumergida en agua (gr) [C]			
Peso seco de la muestra (gr) [A]			
% Muestra Total Retenida Tamiz N°8 (gr)			
% Muestra Total que pasa Tamiz N°8 (gr)			
Gravedad específica Fracción Gruesa			
Gravedad especif. prom. Fracción grueasa			

Aplicación:  $Ss = [A] / [A - C]$

**Ss Muestra Total= 2.69**

OBSERVACIONES

Temp. En °C	Dens. Rel. Agua	F.C (K)
18	0.9986244	1.0004
19	0.9984347	1.0002
20	0.9982343	1.0000
21	0.9980233	0.9998
22	0.9978018	0.9996
23	0.9975702	0.9993
24	0.9973286	0.9991
25	0.9970770	0.9989
26	0.9968156	0.9986
27	0.9965451	0.9983
28	0.9962652	0.998

Factores de corrección por temperatura



**GRAVEDAD ESPECIFICA**

Localización	Ladera principal Barrio San Fermín - Taludes 1 y 2 - Municipio de Ocaña N.S.	Sondeo	4
Descripción	Material arcillo arenoso color marrón-amarillo, presencia de minerales color blanco.	Muestra N°	1
Proyecto	Aplicación del método de los Factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa	Profundidad	3.0 -4.0 m
Solicitante	Romel Gallardo Amaya.	Fecha	Julio 17 de 2013
		Norma	INV E-128-07 INV E-223-07

**GRAVEDAD ESPECIFICA FRACCION FINA I.N.V. E-128-07**

PRUEBA N°	1	2	3
Peso del Pignómetro [W] (gr)	149.9	144.7	148.2
Peso suelo seco horno [Wo] (gr)	66.00	67.80	68.30
Peso Pignómetro+agua+suelo [W1] (gr)	707.80	696.40	704.40
Peso Pignómetro+agua [W2] (gr)	665.30	652.70	660.50
Volumen Pignómetro [V] (cm³)	500.0	500.0	500.0
Temperatura agua en el ensayo (T°C)	24°C	24°C	24°C
Factor de corrección de temperatura [K]	0.9991	0.9991	0.9991
Gravedad Específica [Ss]	2.806	2.811	2.797
Gravedad Específica promedio (Ss prom.)	2.804		

Aplicación:  $Ss = [Wo \cdot K] / [W2 + Wo - W1]$

**GRAVEDAD ESPECIFICA FRACCION GRUESA I.N.V. E-223-07**

PRUEBA N°			
Peso Muestra Ret. Tamiz N°8 Saturada Superficialmente Seca en el aire (gr) [B]			
Peso Muestra Ret. Tamiz N°8 Saturada y Sumergida en agua (gr) [C]			
Peso seco de la muestra (gr) [A]			
% Muestra Total Retenida Tamiz N°8 (gr)			
% Muestra Total que pasa Tamiz N°8 (gr)			
Gravedad específica Fracción Gruesa			
Gravedad especif. prom. Fracción grueasa			

Aplicación:  $Ss = [A] / [A - C]$

**Ss Muestra Total= 2.80**

**OBSERVACIONES**

Temp. En °C	Dens. Rel. Agua	F.C (K)
18	0.9986244	1.0004
19	0.9984347	1.0002
20	0.9982343	1.0000
21	0.9980233	0.9998
22	0.9978018	0.9996
23	0.9975702	0.9993
24	0.9973286	0.9991
25	0.9970770	0.9989
26	0.9968156	0.9986
27	0.9965451	0.9983
28	0.9962652	0.998

Factores de corrección por temperatura



**PESO UNITARIO**

Localización	Ladera principal Barrio San Fermín - Taludes 1 y 2 - Municipio de Ocaña N.S.	Sondeo	2
Descripción	Fragmento de Roca correspondiente a la Grano Diorita del complejo igneo Intrusivo-extrusivo las caras del fragmento presentan color negruzco (oxidación)-superficie rugosa.	Muestra Nº	1
Localiz. Sondeo	Parte alta Taludes Críticos.	Profundidad	3.0 m - 5.0 m
Proyecto	Aplicación del método de los Factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa barrio San Fermín, municipio de OCAÑA, y selección de obras de mitigación.	Fecha	Julio 17 de 2013
Director Proy.	Msc. Wilfredo del Toro		

**PESO UNITARIO**

PRUEBA Nº	1	2	3	
Profundidad (m)	3.0 a 5.0			
Peso húmedo de la muestra (gr)	23.62			
Peso muestra + parafina en el aire (gr)	26.82			
Peso parafina (gr)	3.20			
Volumen parafina (cm <sup>3</sup> )	3.59			
Peso muestra+parafina en el agua (gr)	13.80			
Volumen muestra+parafina (gr)	13.02			
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	9.43			
Peso Unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.50			
Peso Unitario prom. Estrato (gr/cm <sup>3</sup> )				

\* Densidad de la parafina = 0.8915 gr/cm<sup>3</sup>

**PESO UNITARIO**

PRUEBA Nº				
Profundidad (m)				
Peso húmedo de la muestra (gr)				
Peso muestra + parafina en el aire (gr)				
Peso parafina (gr)				
Volumen parafina (cm <sup>3</sup> )				
Peso muestra+parafina en el agua (gr)				
Volumen muestra+parafina (gr)				
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )				
Peso Unitario (gr/cm <sup>3</sup> )				
Peso Unitario prom. Estrato (gr/cm <sup>3</sup> )				

\* Densidad de la parafina = 0.8915 gr/cm<sup>3</sup>

ENSAYÓ:	<b>ROMEL GALLARDO AMAYA</b>	
REVISÓ:	<b>AGUSTIN MACGREGOR T.</b>	



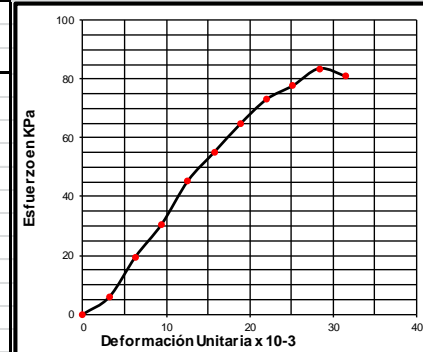
**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**



**RESISTENCIA A LA COMPRESION INCONFINADA**

Longitud (L)(cm)	8.07	Sondeo	#1	Localización	Parte baja Taludes Críticos - Barrio San Fermin - Ocaña N.S.	Especimen	1
Diametro (D)(cm)	4.70	Profundidad (m)=	2.6	Descripción	Material Areno arcilloso color marrón amarillo. Contiene minerales de color blanco, los extremos de la muestra corresponden a estructuras heredadas (Diaclasas)	Norma	ASTM D 2166-06
Peso (W)(gr)	286.93	Humedad =	19.46%	Observación	Material Muy Blando (Roca Completamente Alterada - Saprolito)	Fecha	Junio 24 de 2013
L/D	1.72	Es (kPa)=	3777.850	Proyecto	Trabajo Aplicado - Maestría en Geotecnia - UIS		
Area (A)(cm <sup>2</sup> )	17.36	Peso Unit. (g/cm <sup>3</sup> ) =	2.049				
Volumen (V)(cm <sup>3</sup> )	140.00	Clas. U.S.C.S.	<b>SM</b>				

LECTURA DEL DEFORMIMETRO (0.0001")	DEFORMIMETRO DE CARGA (UNIDADES)	DEFORMACION DE LA MUESTRA (mm)	DEFORMACION UNITARIA (ε) x 10 <sup>-3</sup>	AREA C.F (1-ε)	AREA CORREGIDA A' (cm <sup>2</sup> )	CARGA TOTAL (Kg)	ESFUERZO TOTAL (Kpa)
0	0.0	0.000	0.0000	1.0000	17.3568	0.000	0.000
10	3.0	0.254	3.1490	0.9969	17.4117	1.031	5.811
20	8.5	0.508	6.2980	0.9937	17.4668	3.473	19.508
30	13.0	0.762	9.4471	0.9906	17.5224	5.471	30.628
40	19.0	1.016	12.5961	0.9874	17.5782	8.133	45.388
50	23.0	1.270	15.7451	0.9843	17.6345	9.907	55.113
60	27.0	1.524	18.8941	0.9811	17.6911	11.681	64.772
70	30.5	1.778	22.0431	0.9780	17.7481	13.233	73.141
80	32.5	2.032	25.1922	0.9748	17.8054	14.119	77.790
90	35.0	2.286	28.3412	0.9717	17.8631	15.227	83.623
100	34.0	2.540	31.4902	0.9685	17.9212	14.784	80.926



<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION INCONFINADA (RCU)</b>	MPa	kPa	kg/cm <sup>2</sup>
	0.084	83.626	0.85

<b>ENSAYO</b>	<b>REVISO</b>
ROMEL GALLARDO AMAYA	Esp. Agustín Macgregor T.



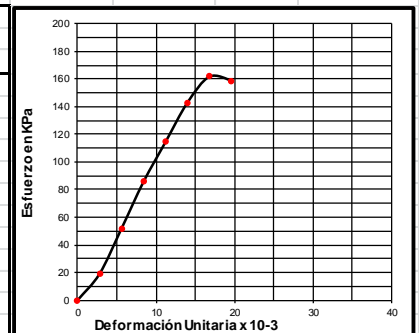
**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**



**RESISTENCIA A LA COMPRESION INCONFINADA**

Longitud (L)(cm)	9.07	Sondeo	#1	Localización	Parte baja Taludes Críticos - Barrio San Fermín - Ocaña N.S.	Especimen	2
Diametro (D)(cm)	4.76	Profundidad (m)=	3.8	Descripción	Material Areno arcilloso color marrón amarillo. Contiene minerales de color blanco, los extremos de la muestra corresponden a estructuras heredadas (Diaclasas)	Norma	ASTM D 2166-06
Peso (W)(gr)	340.36	Humedad =	14.01%	Observación	Material Muy Blando (Roca Completamente Alterada - Saprolito)	Fecha	Junio 24 de 2013
L/D	1.91	Es (kPa)=	10355.580	Proyecto	Trabajo Aplicado - Maestría en Geotecnia - UIS		
Area (A)(cm <sup>2</sup> )	17.80	Peso Unit. (g/cm <sup>3</sup> )=	2.109				
Volumen (V)(cm <sup>3</sup> )	161.40	Clas. U.S.C.S.	<b>SM</b>				

LECTURA DEL DEFORMIMETRO (0.0001")	DEFORMIMETRO DE CARGA (UNIDADES)	DEFORMACION DE LA MUESTRA (mm)	DEFORMACION UNITARIA (ε) x 10 <sup>-3</sup>	AREA C.F (1-ε)	AREA CORREGIDA A' (cm <sup>2</sup> )	CARGA TOTAL (Kg)	ESFUERZO TOTAL (Kpa)
0	0.0	0.000	0.0000	1.0000	17.7952	0.000	0.000
10	8.5	0.254	2.8004	0.9972	17.8452	3.473	19.094
20	22.0	0.508	5.6009	0.9944	17.8955	9.464	51.878
30	36.0	0.762	8.4013	0.9916	17.9460	15.670	85.659
40	48.0	1.016	11.2018	0.9888	17.9968	20.986	114.392
50	60.0	1.270	14.0022	0.9860	18.0479	26.297	142.938
60	68.0	1.524	16.8026	0.9832	18.0994	29.836	161.712
70	67.0	1.778	19.6031	0.9804	18.1511	29.394	158.862



<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION INCONFINADA (RCU)</b>	MPa	kPa	kg/cm <sup>2</sup>
	0.162	161.712	1.65

<b>ENSAYO</b>	<b>REVISO</b>
ROMEL GALLARDO AMAYA	Esp. Agustín Macgregor T.



# UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO (CD)

Localización	En zona Escarpe Talud Derecho - Ladera sur barrio San Fermín, Ocaña N.S.	Sondeo	1
Descripción	Material arenoso limo-arcilloso. Corresponde a suelo residual Horizonte IB (Deere y Patton (1971))	Muestra N°	1 - 2 - 3
Proyecto:	Trabajo Aplicado - Maestría en Geotecnia - UIS.	Profundidad	2.5 m
Solicitante	Romel Gallardo Amaya	Fecha	Nov. 08/2013
		Norma	NTC 1917

### MEMORIA ENSAYO DE CORTE DIRECTO

#### DIMENSIONES

Muestra N°	1	2	3	4
Díámetro (cm)	4.9	4.9	4.95	4.925
Altura (cm)	2.00	2.00	2.00	2.00
Área transversal de la muestra (cm <sup>2</sup> )	18.86	18.86	19.24	19.05

#### HUMEDAD DE LA MUESTRA

Muestra N°	1	2	3	4
Recipiente N°	1	2	3	4
Peso del recipiente (grs.)	33.62	29.89	47.22	33.06
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	111.51	105.10	127.70	109.25
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	102.63	89.61	113.06	92.38
Peso del suelo seco (grs.)	69.01	119.50	160.28	125.44
Peso del agua (grs.)	8.88	15.49	14.64	16.87
Contenido de humedad (w %)	12.87	12.96	9.13	13.45

#### DENSIDAD HUMEDA

Muestra N°	1	2	3	4
Peso de la muestra (gr)	77.89	75.21	80.01	76.19
Volumen de la muestra (cm <sup>3</sup> )	37.71	37.71	38.49	38.10
Peso Unitario Húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	2.065	1.994	2.079	2.000
Peso Unitario Húmedo prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	2.046			

Descripción del ensayo:

En el laboratorio suelos de la Universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña se realizó el ensayo de corte directo a las muestras de suelo de referencia.

- \* Se ensayaron tres muestras del mismo suelo a diferentes presiones de consolidación.
- \* Cuando la consolidación primaria se completó se dio inicio al ensayo.
- \* Cada muestra de suelo se sometió a un corte a lo largo de un plano horizontal.
- \* Se obtuvieron los datos de carga, deformación horizontal y vertical para cada punto.
- \* Finalmente se tabularon los valores de esfuerzo normal y cortante.

**ENSAYO Y CALCULO**

ROMEL GALLARDO A.

**REVISO**

Esp. GUSTIN MACGREGOR T.

Firma

Firma





**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA**

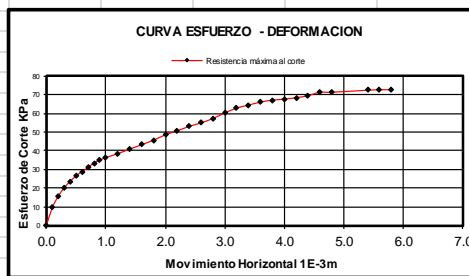
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO (CD)**

Localización	En zona Escarpe Talud Derecho - Ladera sur barrio San Fermín, Ocaña N.S.		Sondeo	1
Descripción	Material areno limo-arcilloso. Corresponde a suelo residual Horizonte IB (Deere y Patton (1971))		Muestra N°	1 - 2 - 3 - 4
Obra	Trabajo Aplicado - Maestría en Geotecnia - UIS.		Profundidad	2.5 m
Solicitante	Romel Gallardo Araya		Fecha	Marzo 01/2010
			Norma	NTC 1917

Carga	255.06	N	Esfuerzo vertical	135.26	Kpa
Área Muestra	18.86	cm <sup>2</sup>	Velocidad de corte	0.07	mm/min

**DEFORMACION HORIZONTAL, VERTICAL Y ESFUERZO DE CORTE**

Deformación		Lectura de Carga N	Esfuerzo de Corte (KPa)
Horizontal 1E <sup>2</sup> mm.	Horizontal 1E <sup>3</sup> m.		
0	0.00	0.0	0.00
10	0.10	18.0	9.55
20	0.20	29.5	15.64
30	0.30	38.0	20.15
40	0.40	44.5	23.60
50	0.50	50.0	26.51
60	0.60	54.5	28.90
70	0.70	58.5	31.02
80	0.80	63	33.41
90	0.90	66	35.00
100	1.00	68.5	36.33
120	1.20	72.5	38.45
140	1.40	77	40.83
160	1.60	81.5	43.22
180	1.80	86	45.61
200	2.00	91.5	48.52
220	2.20	95.5	50.64
240	2.40	100	53.03
260	2.60	103.5	54.89
280	2.80	108	57.27
300	3.00	113.5	60.19
320	3.20	118.5	62.84
340	3.40	121.5	64.43
360	3.60	124.5	66.02
380	3.80	126.5	67.08
400	4.00	127.5	67.61
420	4.20	129	68.41
440	4.40	131	69.47
460	4.60	134.5	71.32
480	4.80	134.5	71.32
540	5.40	136.5	72.39
560	5.60	137	72.65
580	5.80	137	72.65



<b>ENSAYO</b> ROMEL GALLARDO A.	<b>REVISO</b> Esp. AGUSTIN MACGREGOR TORRADO
Firma	Firma



# UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

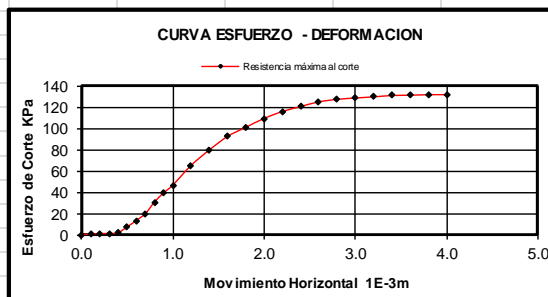
## ENSAYO DE CORTE DIRECTO (CD)

Localización	En zona Escarpe Talud Derecho - Ladera sur barrio San Fermín, Ocaña N.S.	Sondeo	1
Descripción	Material areno limo-arcilloso. Corresponde a suelo residual Horizonte IB (Deere y Patton (1971))	Muestra N°	1 - 2 - 3 - 4
Obra	Trabajo Aplicado - Maestría en Geotecnia - UIS.	Profundidad	2.5 m
Solicitante	Romel Gallardo Amaya	Fecha	Marzo 01/2010
		Norma	NTC 1917

Carga	451.26	N	Esfuerzo vertical	234.49	Kpa
Área Muestra	19.24	cm <sup>2</sup>	Velocidad de corte	0.07	mm/min

### DEFORMACION HORIZONTAL, VERTICAL Y ESFUERZO DE CORTE

Deformación		Lectura de Carga N	Esfuerzo de Corte (KPa)
Horizontal 1E <sup>2</sup> mm.	Horizontal 1E <sup>3</sup> m.		
0	0.00	0.0	0.0
10	0.10	1.0	0.52
20	0.20	2.0	1.04
30	0.30	2.0	1.04
40	0.40	3.5	1.82
50	0.50	14.0	7.27
60	0.60	25.5	13.25
70	0.70	38.0	19.75
80	0.80	59.0	30.66
90	0.90	75.5	39.23
100	1.00	89.5	46.51
120	1.20	125.0	64.95
140	1.40	153.0	79.50
160	1.60	177.5	92.24
180	1.80	194.0	100.81
200	2.00	210.0	109.12
220	2.20	222.5	115.62
240	2.40	231.5	120.30
260	2.60	240.0	124.71
280	2.80	244.5	127.05
300	3.00	247.0	128.35
320	3.20	249.0	129.39
340	3.40	251.5	130.69
360	3.60	252.0	130.95
380	3.80	253.0	131.47
400	4.00	253.0	131.47



<b>ENSAYO</b> ROMEL GALLARDO A.	<b>REVISO</b> Esp. AGUSTIN MACGREGOR TORRADO
Firma	Firma



# UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

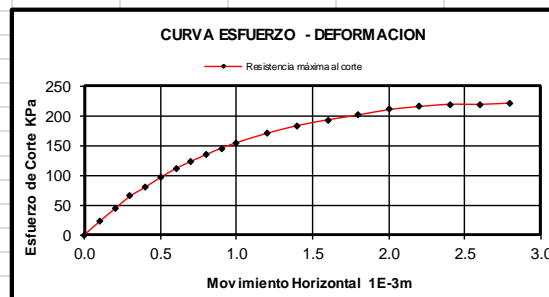
## ENSAYO DE CORTE DIRECTO (CD)

Localización	En zona Escarpe Talud Derecho - Ladera sur barrio San Fermín, Ocaña N.S.	Sondeo	1
Descripción	Material areno limo-arcilloso. Corresponde a suelo residual Horizonte IB (Deere y Patton (1971))	Muestra N°	1 - 2 - 3 - 4
Obra	Trabajo Aplicado - Maestría en Geotecnia - UIS.	Profundidad	2.5 m
Solicitante	Romel Gallardo Amaya	Fecha	Marzo 01/2010
		Norma	NTC 1917

Carga	843.66	N	Esfuerzo vertical	442.86	Kpa
Área Muestra	19.05	cm <sup>2</sup>	Velocidad de corte	0.07	mm/min

### DEFORMACION HORIZONTAL, VERTICAL Y ESFUERZO DE CORTE

Deformación		Lectura de Carga N	Esfuerzo de Corte (KPa)
Horizontal 1E <sup>2</sup> mm.	Horizontal 1E <sup>3</sup> m.		
0	0.00	0.0	0.0
10	0.10	42.5	22.31
20	0.20	83.0	43.57
30	0.30	123.0	64.57
40	0.40	152.0	79.79
50	0.50	183.0	96.06
60	0.60	211.0	110.76
70	0.70	234.0	122.83
80	0.80	256.0	134.38
90	0.90	276.5	145.14
100	1.00	294.0	154.33
120	1.20	324.0	170.08
140	1.40	348.5	182.94
160	1.60	367.0	192.65
180	1.80	382.5	200.78
200	2.00	399.5	209.71
220	2.20	409.5	214.96
240	2.40	416.5	218.63
260	2.60	416.5	218.63
280	2.80	420.5	220.73



<b>ENSAYO</b> ROMEL GALLARDO A.	<b>REVISO</b> Esp. AGUSTIN MACGREGOR TORRADO
Firma	Firma



**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
OCAÑA**



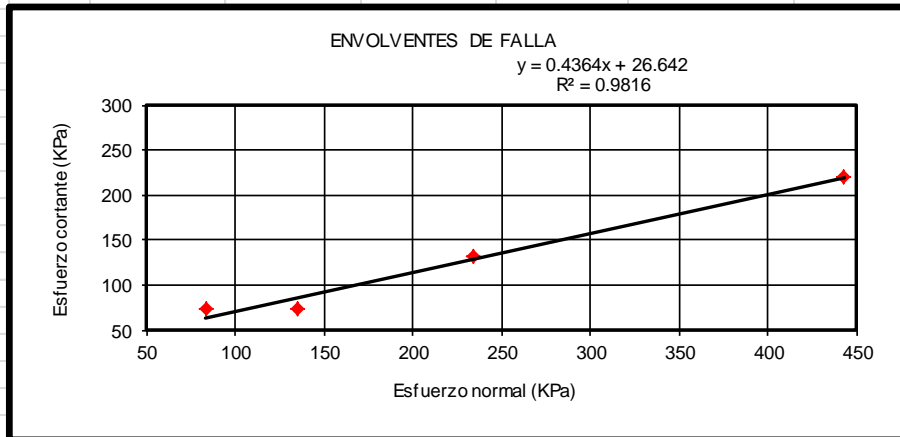
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO (CD)**

Localización	En zona Escarpe Talud Derecho - Ladera sur barrio San Fermín, Ocaña N.S.	Talud	Zona Der.
Descripción	Material areno limo-arcilloso. Corresponde a suelo residual Horizonte IB (Deere y Patton (1971))	Muestra Nº	1 - 2 - 3 - 4
Obra	Trabajo Aplicado - Maestría en Geotecnia - UIS.	Profundidad	2.5 m
Solicitante	Romel Gallardo Amaya	Fecha	Nov. 07/2013
		Norma	NTC 1917

Estado de la muestra	Alterada <input type="checkbox"/>	Humeda <input checked="" type="checkbox"/>
	Inalterada <input checked="" type="checkbox"/>	Saturada <input type="checkbox"/>

**PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE  
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO**

Prueba Numero	esfuerzo Normal KPa	Esfuerzo cortante KPa
1	83.24	72.65
2	135.26	72.65
3	234.49	131.47
4	442.86	221



Parámetros mecánicos del suelo	Máximos
Ángulo de fricción interna	23.57
Cohesión	26.64 KPa = 0.272 kg/cm <sup>2</sup>

<b>ENSAYO</b>	<b>REVISO</b>
ROMEL GALLARDO A.	Esp. AGUSTIN MACGREGOR TORRADO
Firma	Firma



# UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO (CD)

Localización	En zona Talud Izquierdo - Ladera sur barrio San Fermín, Ocaña N.S.	Talud Estudio	Sector Izq.
Descripción	Material areno limo-arcilloso. Corresponde a suelo residual Horizonte IB (Deere y Patton (1971))	Muestra N°	1 - 2 - 3 -4 - 5
Obra	Trabajo Aplicado - Maestría en Geotecnia - UIS.	Profundidad	4 m (S#4)
Solicitante	Romel Gallardo Amaya	Fecha	Nov. 14/2013
		Norma	NTC 1917

### MEMORIA ENSAYO DE CORTE DIRECTO

#### DIMENSIONES

Muestra N°	1	2	3	4	5
Diámetro (cm)	4.9	4.93	4.93	4.95	4.95
Altura (cm)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Área transversal de la muestra (cm <sup>2</sup> )	18.86	19.05	19.05	19.24	19.24

#### HUMEDAD DE LA MUESTRA

Muestra N°	1	2	3	4	5
Recipiente N°	1	2	3	4	5
Peso del recipiente (grs.)	31.25	31.23	32.79	53.84	30.81
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	110.75	111.18	109.20	132.76	108.39
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	101.99	97.25	91.57	114.11	90.40
Peso del suelo seco (grs.)	70.74	128.48	124.36	167.95	121.21
Peso del agua (grs.)	8.76	13.93	17.63	18.65	17.99
Contenido de humedad (w%)	12.38	10.84	14.18	11.10	14.84

#### DENSIDAD HUMEDA

Muestra N°	1	2	3	4	5
Peso de la muestra (gr)	79.5	79.95	76.41	78.92	77.58
Volumen de la muestra (cm <sup>3</sup> )	37.71	38.10	38.10	38.49	38.49
Peso Unitario Húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	2.108	2.098	2.005	2.050	2.016
Peso Unitario Húmedo prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	2.056				

Descripción del ensayo:

En el laboratorio suelos de la Universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña se realizó el ensayo de corte directo a las muestras de suelo de referencia.

- \* Se ensayaron cinco muestras del mismo suelo a diferentes presiones de consolidación.
- \* Cuando la consolidación primaria se completó se dio inicio al ensayo.
- \* Cada muestra de suelo se sometió a un corte a lo largo de un plano horizontal.
- \* Se obtuvieron los datos de carga, deformación horizontal y vertical para cada punto.
- \* Finalmente se tabularon los valores de esfuerzo normal y cortante.

**ENSAYO Y CALCULO**

ROMEL GALLARDO A.

**REVISO**

Esp. GUSTIN MACGREGOR T.

Firma

Firma



# UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

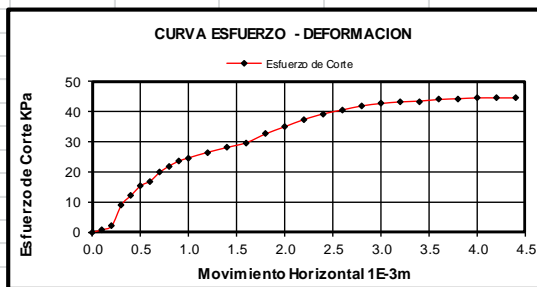
## ENSAYO DE CORTE DIRECTO (CD)

Localización	En zona Talud Izquierdo - Ladera sur barrio San Fermin, Ocaña N.S.	Sondeo	Sector Izq.
Descripción	Material areno limo-arcilloso. Corresponde a suelo residual Horizonte IB (Deere y Patton (1971))	Muestra N°	1
Obra	Trabajo Aplicado - Maestría en Geotecnia - UIS.	Profundidad	4 m (S#4)
Solicitante	Romel Gallardo Amaya	Fecha	
		Norma	NTC 1917

Carga	98.1	N	Esfuerzo vertical	52.02	Kpa
Área Muestra	18.86	cm <sup>2</sup>	Velocidad de corte	0.07	mm/min


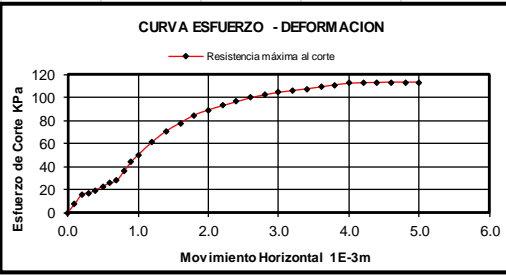
### DEFORMACION HORIZONTAL, VERTICAL Y ESFUERZO DE CORTE


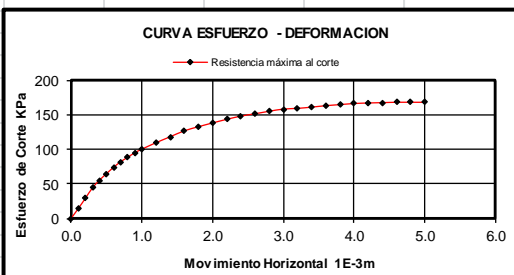
Deformación		Lectura de Carga N	Esfuerzo de Corte (KPa)
Horizontal 1E <sup>2</sup> mm.	Horizontal 1E <sup>3</sup> m.		
0	0.00	0.0	0.0
10	0.10	1.5	0.8
20	0.20	4.0	2.1
30	0.30	17.0	9.0
40	0.40	23.0	12.2
50	0.50	29.0	15.4
60	0.60	32.0	17.0
70	0.70	37.5	19.9
80	0.80	41.5	22.0
90	0.90	44.5	23.6
100	1.00	46.5	24.7
120	1.20	50.0	26.5
140	1.40	53.0	28.1
160	1.60	56.0	29.7
180	1.80	61.5	32.6
200	2.00	66.0	35.0
220	2.20	70.5	37.4
240	2.40	74.0	39.2
260	2.60	76.5	40.6
280	2.80	79.0	41.9
300	3.00	80.5	42.7
320	3.20	81.5	43.2
340	3.40	82.0	43.5
360	3.60	83.0	44.0
380	3.80	83.5	44.3
400	4.00	84.0	44.5
420	4.20	84.0	44.5
440	4.40	84.0	44.5



<b>ENSAYO</b> ROMEL J. GALLARDO AMAYA	<b>REVISO</b> Esp. GUSTIN MACGREGOR T.
Firma	Firma



 <b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
<b>ENSAYO DE CORTE DIRECTO (CD)</b>			
Localización	En zona Talud Izquierdo - Ladera sur barrio San Fermín, Ocaña N.S.	Sondeo	Sector lzq.
Descripción	Material areno limo-arcilloso. Corresponde a suelo residual Horizonte IB (Deere y Patton (1971)).	Muestra N°	3
Obra	Trabajo Aplicado - Maestría en Geotecnia - UIS.	Profundidad	4 m (S#4)
Solicitante	Romel Gallardo Amaya	Fecha	
		Norma	NTC 1917
Carga	294.3 N	Esfuerzo vertical	154.49 Kpa
Área Muestra	19.05 cm <sup>2</sup>	Velocidad de corte	0.07 mm/min
<b>DEFORMACION HORIZONTAL, VERTICAL Y ESFUERZO DE CORTE</b>			
Deformación		Lectura de	Esfuerzo
Horizontal 1E <sup>2</sup> mm.	Horizontal 1E <sup>3</sup> m.	Carga N	de Corte (KPa)
0	0.00	0.0	0.00
10	0.10	14.0	7.35
20	0.20	29.5	15.49
30	0.30	32.0	16.80
40	0.40	37.0	19.42
50	0.50	43.5	22.83
60	0.60	48.5	25.46
70	0.70	53.0	27.82
80	0.80	68.0	35.69
90	0.90	83.0	43.57
100	1.00	95.0	49.87
120	1.20	116.5	61.15
140	1.40	134.5	70.60
160	1.60	148.0	77.69
180	1.80	161.0	84.51
200	2.00	169.5	88.97
220	2.20	176.5	92.65
240	2.40	183.0	96.06
260	2.60	189.5	99.47
280	2.80	194.5	102.10
300	3.00	198.5	104.20
320	3.20	201.5	105.77
340	3.40	204.5	107.35
360	3.60	207.5	108.92
380	3.80	211.0	110.76
400	4.00	213.5	112.07
420	4.20	214.5	112.60
440	4.40	215.0	112.86
460	4.60	215.5	113.12
480	4.80	215.5	113.12
500	5.00	215.5	113.12
			
<b>ENSAYO</b>		<b>REVISO</b>	
ROMEL J. GALLARDO AMAYA		Esp. GUSTIN MACGREGOR T.	
Firma		Firma	

 <b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>																																																																																																																																											
<b>ENSAYO DE CORTE DIRECTO (CD)</b>																																																																																																																																											
Localización	En zona Talud Izquierdo - Ladera sur barrio San Fermín, Ocaña N.S.																																																																																																																																										
Descripción	Material arenoso limo-arcilloso. Corresponde a suelo residual Horizonte IB (Deere y Patton (1971))																																																																																																																																										
Obra	Trabajo Aplicado - Maestría en Geotecnia - UIS.																																																																																																																																										
Solicitante	Romel Gallardo Amaya																																																																																																																																										
	Sondeo																																																																																																																																										
	Muestra N°																																																																																																																																										
	Profundidad																																																																																																																																										
	Fecha																																																																																																																																										
	Norma																																																																																																																																										
	NTC 1917																																																																																																																																										
Carga	549.36 N																																																																																																																																										
Área Muestra	19.24 cm <sup>2</sup>																																																																																																																																										
	Esfuerzo vertical																																																																																																																																										
	285.47 Kpa																																																																																																																																										
	Velocidad de corte																																																																																																																																										
	0.07 mm/min																																																																																																																																										
<b>DEFORMACION HORIZONTAL, VERTICAL Y ESFUERZO DE CORTE</b>																																																																																																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Deformación</th> <th>Lectura de</th> <th>Esfuerzo</th> </tr> <tr> <th>Horizontal</th> <th>Horizontal</th> <th>Carga</th> <th>de Corte</th> </tr> <tr> <th>1E<sup>2</sup> mm.</th> <th>1E<sup>3</sup> m.</th> <th>N</th> <th>(KPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.00</td><td>0.0</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.10</td><td>27.0</td><td>14.03</td></tr> <tr><td>20</td><td>0.20</td><td>55.5</td><td>28.84</td></tr> <tr><td>30</td><td>0.30</td><td>84.5</td><td>43.91</td></tr> <tr><td>40</td><td>0.40</td><td>106.0</td><td>55.08</td></tr> <tr><td>50</td><td>0.50</td><td>124.5</td><td>64.69</td></tr> <tr><td>60</td><td>0.60</td><td>142.0</td><td>73.79</td></tr> <tr><td>70</td><td>0.70</td><td>157.5</td><td>81.84</td></tr> <tr><td>80</td><td>0.80</td><td>170.0</td><td>88.34</td></tr> <tr><td>90</td><td>0.90</td><td>182.5</td><td>94.83</td></tr> <tr><td>100</td><td>1.00</td><td>192.5</td><td>100.03</td></tr> <tr><td>120</td><td>1.20</td><td>210.5</td><td>109.38</td></tr> <tr><td>140</td><td>1.40</td><td>227.0</td><td>117.96</td></tr> <tr><td>160</td><td>1.60</td><td>243.5</td><td>126.53</td></tr> <tr><td>180</td><td>1.80</td><td>255.0</td><td>132.51</td></tr> <tr><td>200</td><td>2.00</td><td>265.5</td><td>137.96</td></tr> <tr><td>220</td><td>2.20</td><td>275.5</td><td>143.16</td></tr> <tr><td>240</td><td>2.40</td><td>284.5</td><td>147.84</td></tr> <tr><td>260</td><td>2.60</td><td>291.0</td><td>151.21</td></tr> <tr><td>280</td><td>2.80</td><td>298.0</td><td>154.85</td></tr> <tr><td>300</td><td>3.00</td><td>304.0</td><td>157.97</td></tr> <tr><td>320</td><td>3.20</td><td>306.0</td><td>159.01</td></tr> <tr><td>340</td><td>3.40</td><td>309.5</td><td>160.83</td></tr> <tr><td>360</td><td>3.60</td><td>313.5</td><td>162.91</td></tr> <tr><td>380</td><td>3.80</td><td>316.5</td><td>164.46</td></tr> <tr><td>400</td><td>4.00</td><td>319.5</td><td>166.02</td></tr> <tr><td>420</td><td>4.20</td><td>321.0</td><td>166.80</td></tr> <tr><td>440</td><td>4.40</td><td>322.0</td><td>167.32</td></tr> <tr><td>460</td><td>4.60</td><td>323.0</td><td>167.84</td></tr> <tr><td>480</td><td>4.80</td><td>323.0</td><td>167.84</td></tr> <tr><td>500</td><td>5.00</td><td>323.0</td><td>167.84</td></tr> </tbody> </table>				Deformación		Lectura de	Esfuerzo	Horizontal	Horizontal	Carga	de Corte	1E <sup>2</sup> mm.	1E <sup>3</sup> m.	N	(KPa)	0	0.00	0.0	0.0	10	0.10	27.0	14.03	20	0.20	55.5	28.84	30	0.30	84.5	43.91	40	0.40	106.0	55.08	50	0.50	124.5	64.69	60	0.60	142.0	73.79	70	0.70	157.5	81.84	80	0.80	170.0	88.34	90	0.90	182.5	94.83	100	1.00	192.5	100.03	120	1.20	210.5	109.38	140	1.40	227.0	117.96	160	1.60	243.5	126.53	180	1.80	255.0	132.51	200	2.00	265.5	137.96	220	2.20	275.5	143.16	240	2.40	284.5	147.84	260	2.60	291.0	151.21	280	2.80	298.0	154.85	300	3.00	304.0	157.97	320	3.20	306.0	159.01	340	3.40	309.5	160.83	360	3.60	313.5	162.91	380	3.80	316.5	164.46	400	4.00	319.5	166.02	420	4.20	321.0	166.80	440	4.40	322.0	167.32	460	4.60	323.0	167.84	480	4.80	323.0	167.84	500	5.00	323.0	167.84
Deformación		Lectura de	Esfuerzo																																																																																																																																								
Horizontal	Horizontal	Carga	de Corte																																																																																																																																								
1E <sup>2</sup> mm.	1E <sup>3</sup> m.	N	(KPa)																																																																																																																																								
0	0.00	0.0	0.0																																																																																																																																								
10	0.10	27.0	14.03																																																																																																																																								
20	0.20	55.5	28.84																																																																																																																																								
30	0.30	84.5	43.91																																																																																																																																								
40	0.40	106.0	55.08																																																																																																																																								
50	0.50	124.5	64.69																																																																																																																																								
60	0.60	142.0	73.79																																																																																																																																								
70	0.70	157.5	81.84																																																																																																																																								
80	0.80	170.0	88.34																																																																																																																																								
90	0.90	182.5	94.83																																																																																																																																								
100	1.00	192.5	100.03																																																																																																																																								
120	1.20	210.5	109.38																																																																																																																																								
140	1.40	227.0	117.96																																																																																																																																								
160	1.60	243.5	126.53																																																																																																																																								
180	1.80	255.0	132.51																																																																																																																																								
200	2.00	265.5	137.96																																																																																																																																								
220	2.20	275.5	143.16																																																																																																																																								
240	2.40	284.5	147.84																																																																																																																																								
260	2.60	291.0	151.21																																																																																																																																								
280	2.80	298.0	154.85																																																																																																																																								
300	3.00	304.0	157.97																																																																																																																																								
320	3.20	306.0	159.01																																																																																																																																								
340	3.40	309.5	160.83																																																																																																																																								
360	3.60	313.5	162.91																																																																																																																																								
380	3.80	316.5	164.46																																																																																																																																								
400	4.00	319.5	166.02																																																																																																																																								
420	4.20	321.0	166.80																																																																																																																																								
440	4.40	322.0	167.32																																																																																																																																								
460	4.60	323.0	167.84																																																																																																																																								
480	4.80	323.0	167.84																																																																																																																																								
500	5.00	323.0	167.84																																																																																																																																								
<div style="text-align: center;">  <p><b>CURVA ESFUERZO - DEFORMACION</b></p> <p>Resistencia máxima al corte</p> </div>																																																																																																																																											
<b>ENSAYO</b> ROMEL J. GALLARDO AMAYA		<b>REVISO</b> Esp. GUSTIN MACCREGOR T.																																																																																																																																									
Firma		Firma																																																																																																																																									



**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
OCAÑA**



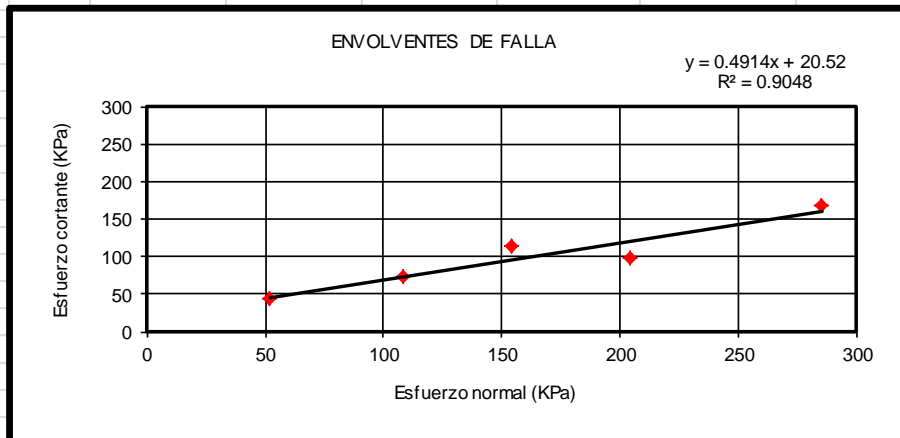
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO (CD)**

Localización	En zona Talud Izquierdo - Ladera sur barrio San Fermín, Ocaña N.S.	Sondeo	1
Descripción	Material areno limo-arcilloso. Corresponde a suelo residual Horizonte IB (Deere y Patton (1971))	Muestra Nº	1 - 2 - 3 - 4 - 5
Obra	Trabajo Aplicado - Maestría en Geotecnia - UIS.	Profundidad	4 m (S#4)
Solicitante	Romel Gallardo Amaya	Fecha	
		Norma	NTC 1917

Estado de la muestra	Alterada <input type="checkbox"/>	Humeda <input checked="" type="checkbox"/>
	Inalterada <input checked="" type="checkbox"/>	Saturada <input type="checkbox"/>

**PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE  
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO**

Prueba Numero	esfuerzo Normal KPa	Esfuerzo cortante KPa
1	52.02	44.54
2	108.14	73.49
3	154.49	113.12
4	203.91	98.73
5	285.47	167.84



Parámetros mecánicos del suelo	Máximos
Ángulo de fricción interna	26.17
Cohesión	20.52 KPa = 0.209 kg/cm <sup>2</sup>

<b>ENSAYO</b> ROMEL J. GALLARDO AMAYA	<b>CALCULO</b> ROMEL J. GALLARDO AMAYA
Firma	Firma



**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**



**ENSAYO DE CARGA PUNTUAL (ASTM D 5731)**

Proyecto: Aplicación del Método de Los Factores de Valuación en los Fenómenos de Remoción en Masa del barrio San Fermín, municipio de Ocaña y selección de propuestas de mitigación. - TRABAJO APLICADO - MAESTRIA EN GEOTECNIA UIS.

Solicitante: Romel J. Gallardo Amaya

Localización: Afloramiento en vía de acceso al barrio San Fermín, Ocaña N.S.



Características: Muestreo en bloques provenientes del talud costado izquierdo vía de acceso al barrio San fermín (bloques bastante fracturados)

Muestra: 1 a 4

Prof. (m): Afloramiento Superficie

Fecha: Noviembre 09 de 2013.

N° de Testigos	Tipo de Roca	Tipo de Ensayo D/A/X	GEOMETRIA DE LA MUESTRA			De <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	De (mm)	Fuerza (P) (N)	Is Calculado (N/mm <sup>2</sup> )	Is(50) Corregido (MPa)	σ <sub>c1</sub> (MPa)	ISRM
			H (mm)	Largo (L) (mm)	Ancho (W) (mm)							
1	Roca ígnea plutónica (Granodiorita)	FI	39.07	100.00	55.00	2736.00	52.307	1850	0.6762	0.6900	13.80	
2		FI	44.88	91.50	58.41	3337.72	57.773	2120	0.6352	0.6778	13.56	
3		FI	49.42	89.00	57.89	3642.64	60.354	1650	0.4530	0.4930	9.86	
4		FI	58.19	107.79	62.58	4636.54	68.092	1550	0.3343	0.3841	7.68	
									<b>Prom.</b>	<b>0.5613</b>	<b>11.23</b>	

Ensayo: D= Diametral / A= Axial / FI= Irregular  
 Perpendicular a los planos de debilidad.  
 Paralelo a los planos de debilidad.

Observación: Roca de Resistencia muy baja.  
 Dado que Is < 1 Mpa se debe verificar Resistencia por otro método.



Realizó y Elaboró:  
 Romel Gallardo Amaya

**Anexo G. Resultados “retro calculo”**

Se analizó la condición del talud central de la zona de estudio (perfil 2) antes del momento de la falla que se evidencia actualmente, la cual corresponde a un deslizamiento planar de un bloque completo de material que incluye varios horizontes del perfil de meteorización presente en el lugar. Dado que de acuerdo a lo visto en campo este deslizamiento tiene la superficie de falla localizada principalmente en el horizonte de suelos medio duros, se han variado las propiedades de cohesión y fricción para este material.

El análisis cinemático realizado con la ayuda del software RocPlane de Rocscience®, debido a la configuración del software, involucra un solo geomaterial, en este caso los suelos medio duros del perfil de meteorización. La geometría también se debió adecuar a la que permite trabajar el programa. Para las fuerzas externas no se consideró sismo, ni presencia de agua en la grieta de tracción, ni tampoco cargas externas en la corona del talud. Las anteriores son las condiciones que se cree tenía el talud central antes de su falla en abril de 2012.

De acuerdo al análisis mediante “retro cálculo” se variaron los valores de cohesión y fricción buscando que el factor de seguridad sea 1.0. Para ello se graficaron los diferentes resultados que se aprecian en la Figura 20 y en la Tabla 16. En las Figuras 21 a 23 se aprecian los datos y resultados obtenidos con el software RocPlane para uno de los casos de la Tabla 16 ( $\phi=24^\circ$  y  $c=1.4 \text{ t/m}^2$ )

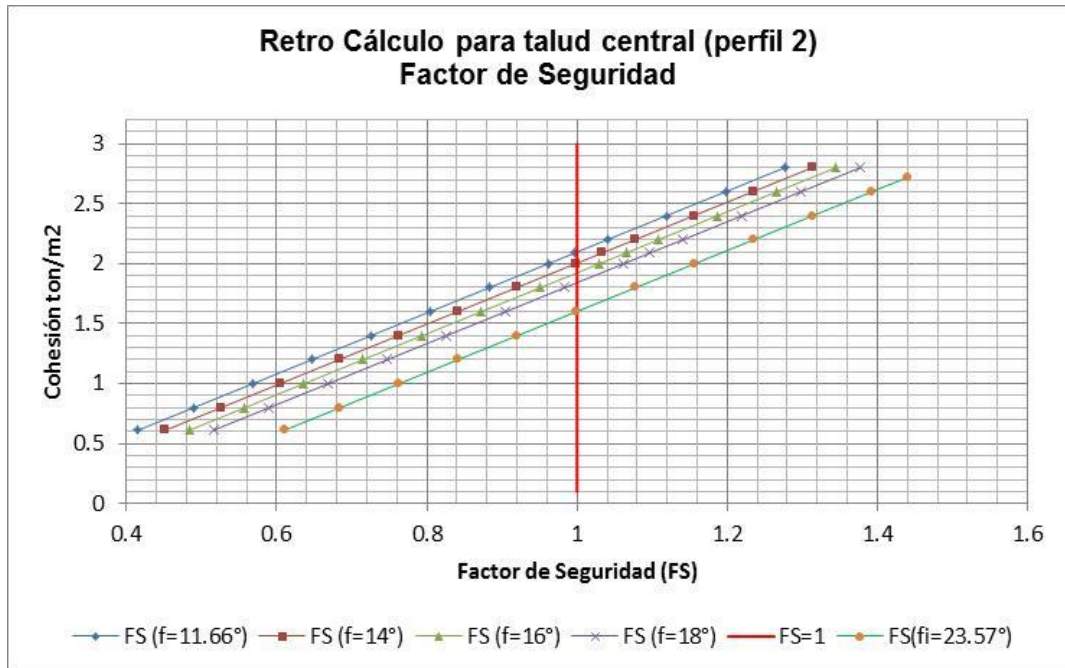
En la Tabla 17 están los resultados del retro cálculo utilizando el software Slope/W de GeoStudio®, para condiciones similares del talud central (perfil 2). En la Figura 24 se muestra el resultado gráfico y en la Figura 25 se aprecia el análisis para uno de los casos de la Tabla 17 ( $\phi=28^\circ$  y  $c=8 \text{ kPa}$ ).

**Tabla 16.** Resumen de resultados de retro cálculo para talud central (perfil 2)

c	FS ( $\phi_i=11.66^\circ$ )	FS ( $\phi_i=14^\circ$ )	FS ( $\phi_i=16^\circ$ )	FS ( $\phi_i=18^\circ$ )
0.612	0.4157	0.4521	0.4838	0.5162
0.8	0.4896	0.526	0.5577	0.5901
1	0.5683	0.6047	0.6364	0.6688
1.2	0.6469	0.6833	0.7151	0.7474
1.4	0.7256	0.762	0.7937	0.8261
1.6	0.8042	0.8407	0.8724	0.9048
1.8	0.8829	0.9193	0.9511	0.9834
2	0.9616	0.998	1.03	1.062
2.09	0.997	1.0334	1.065	1.097
2.2	1.0402	1.077	1.1084	1.141
2.4	1.1189	1.1553	1.187	1.2194
2.6	1.1976	1.234	1.2657	1.2981
2.8	1.2762	1.3127	1.3444	1.3767

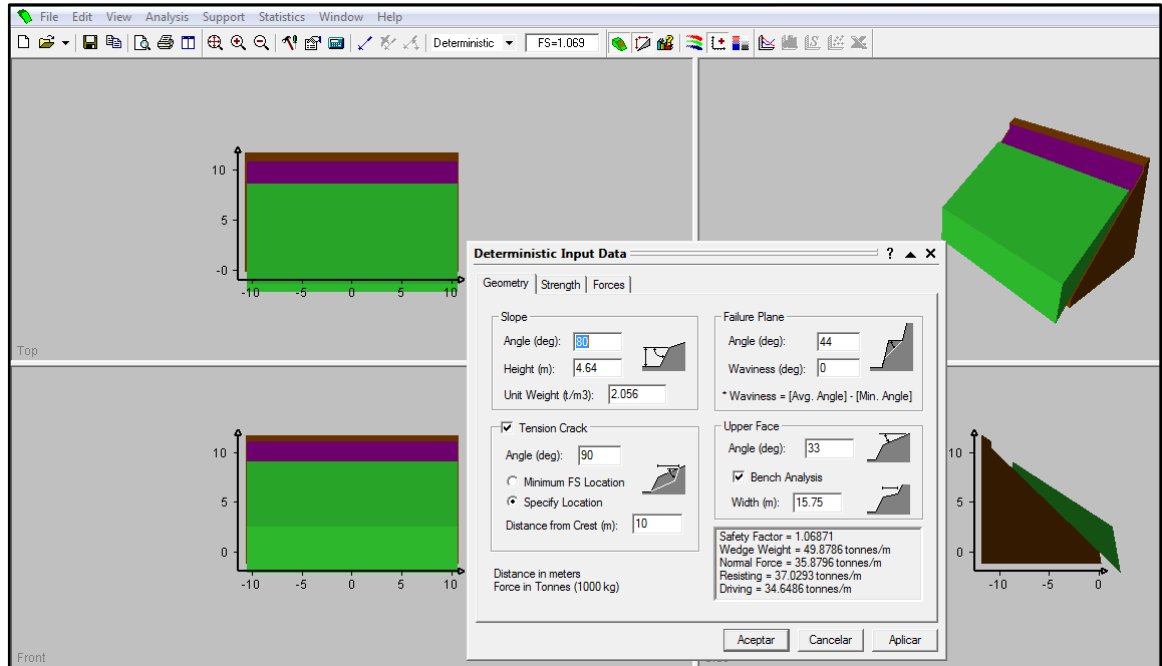
Fuente: Autor.

**Figura 20.** Resultados del retro cálculo para talud central (perfil 2) con RocPlane.



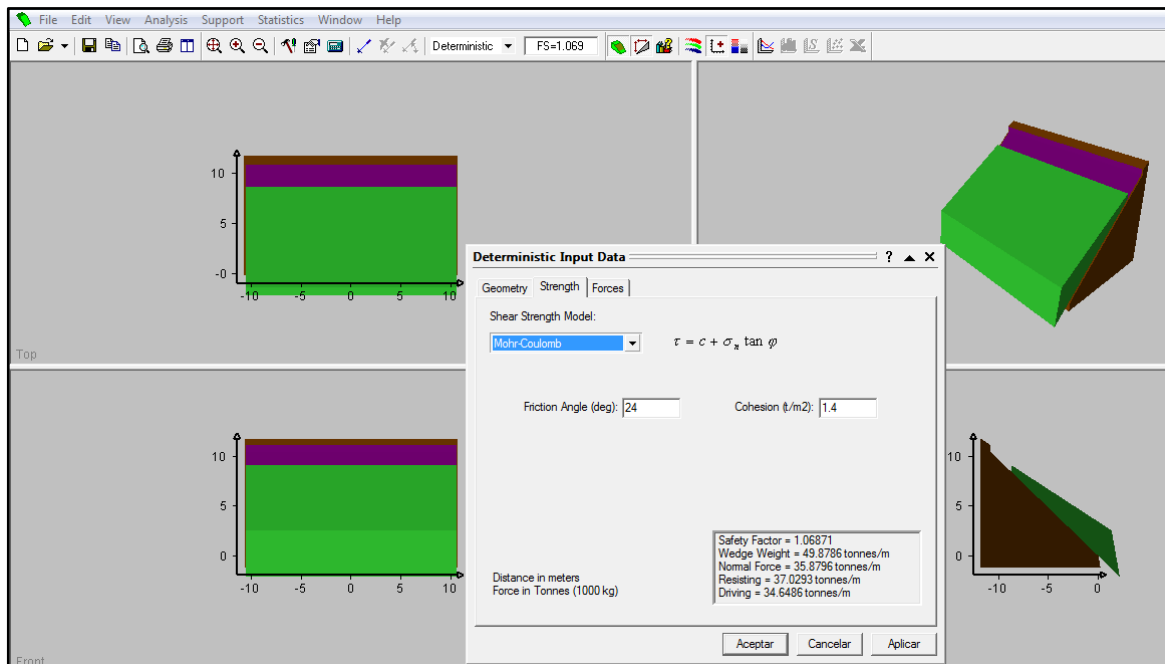
Fuente: Autor.

**Figura 21.** Geometría del talud para análisis por retro cálculo.



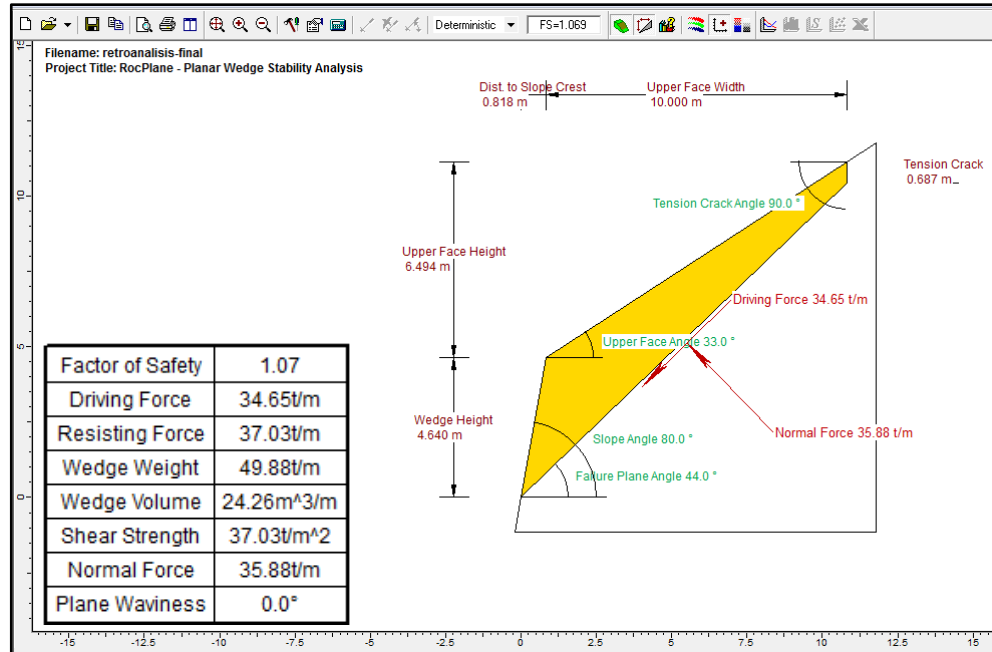
Fuente: Autor.

**Figura 22.** Parámetros de resistencia del talud para análisis por retro cálculo.



Fuente: Autor.

**Figura 23.** Análisis de estabilidad para falla planar talud central (perfil 2).



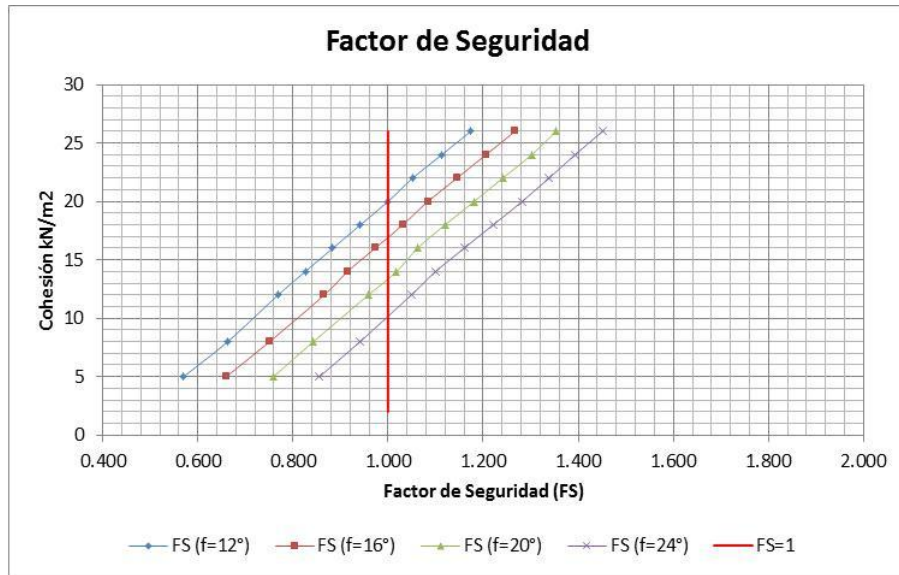
Fuente: Autor.

**Tabla 17.** Resumen de resultados de retro cálculo para talud central (perfil 2) Slope/W.

c (kPa)	FS ( $\phi=12^\circ$ )	FS ( $\phi=16^\circ$ )	FS ( $\phi=20^\circ$ )	FS ( $\phi=24^\circ$ )	FS ( $\phi=28^\circ$ )	FS ( $\phi=32^\circ$ )
5	0.570	0.660	0.759	0.856	0.951	1.053
8	0.663	0.751	0.843	0.941	1.036	1.141
12	0.769	0.866	0.959	1.049	1.146	1.262
14	0.826	0.915	1.018	1.100	1.207	1.322
16	0.884	0.973	1.062	1.160	1.268	1.377
18	0.942	1.031	1.120	1.221	1.326	1.433
20	1.000	1.084	1.181	1.282	1.381	1.490
22	1.052	1.145	1.241	1.339	1.438	1.548
24	1.113	1.206	1.302	1.393	1.496	1.606
26	1.174	1.267	1.353	1.451	1.554	1.663

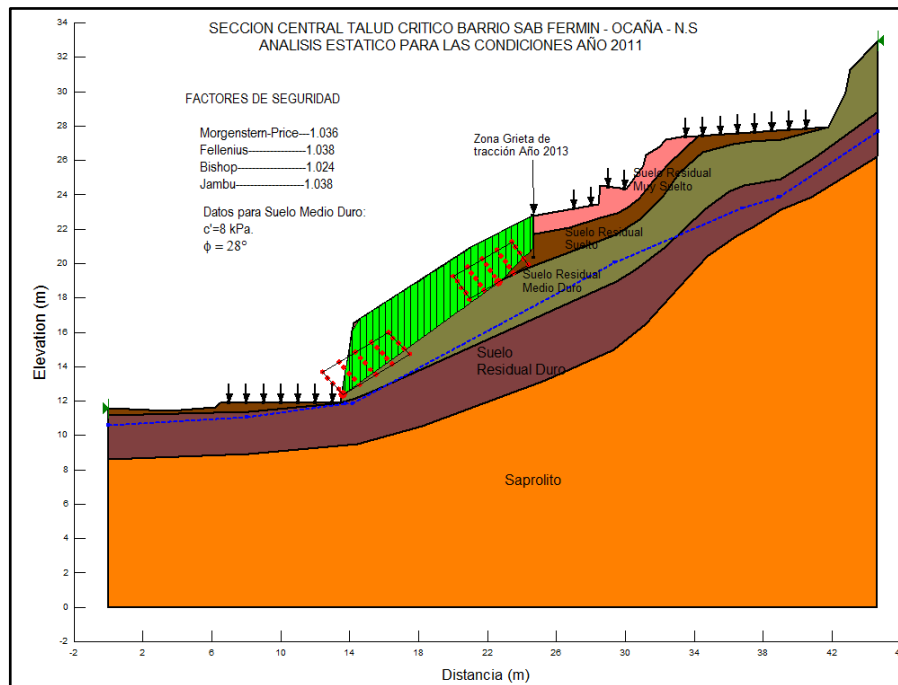
Fuente: Autor.

**Figura 24.** Resultados del retro cálculo para talud central (perfil 2) con Slope/W.



Fuente: Autor.

**Figura 25.** Resultados del retro cálculo para talud central (perfil 2) con Slope/W.

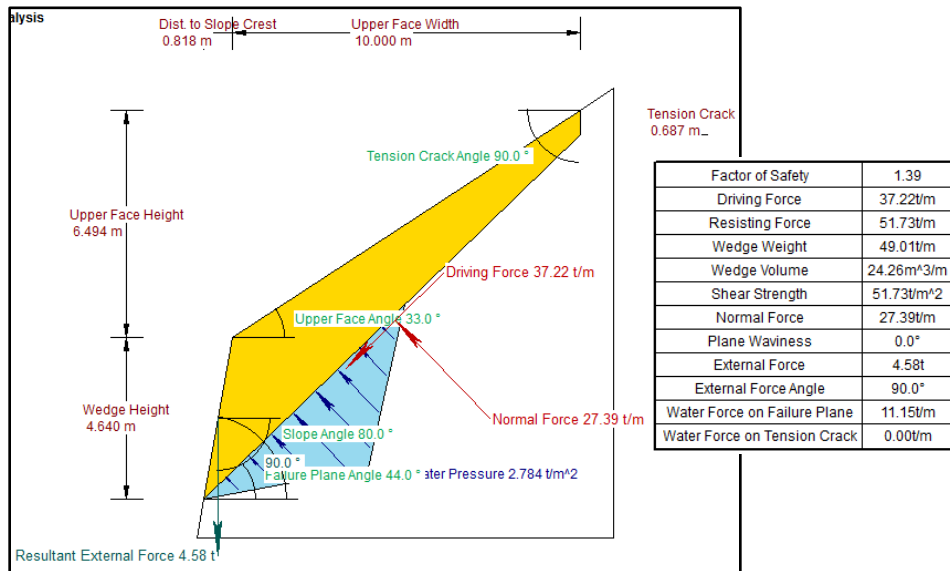
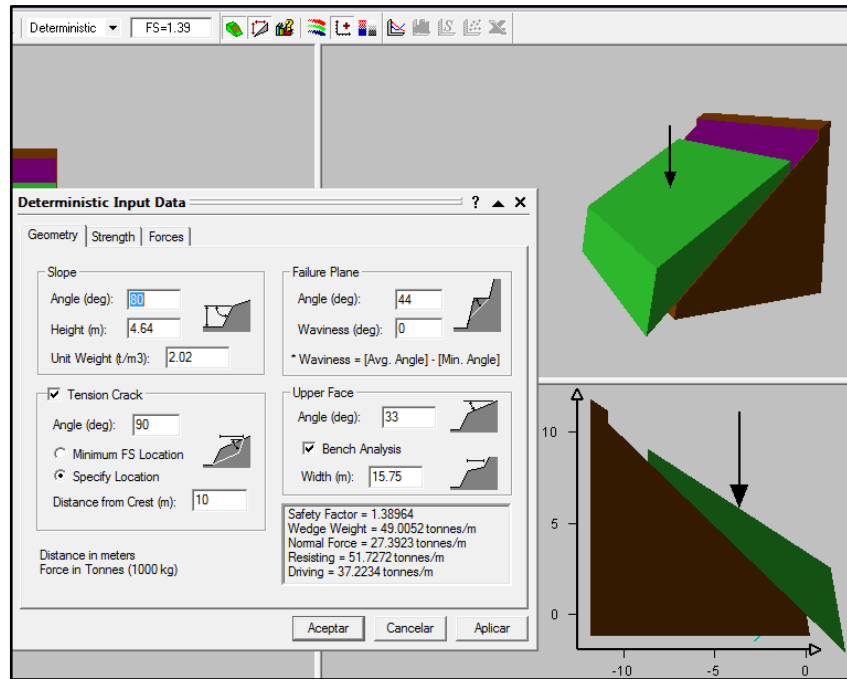


Fuente: Autor.

## **Anexo H. Resultados análisis de estabilidad**

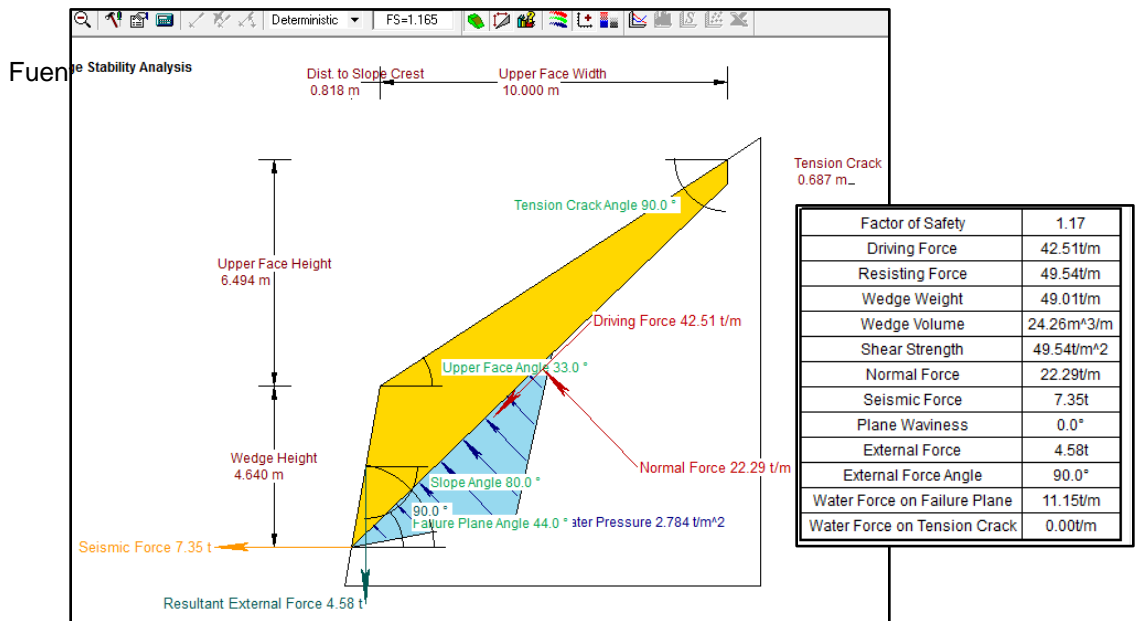
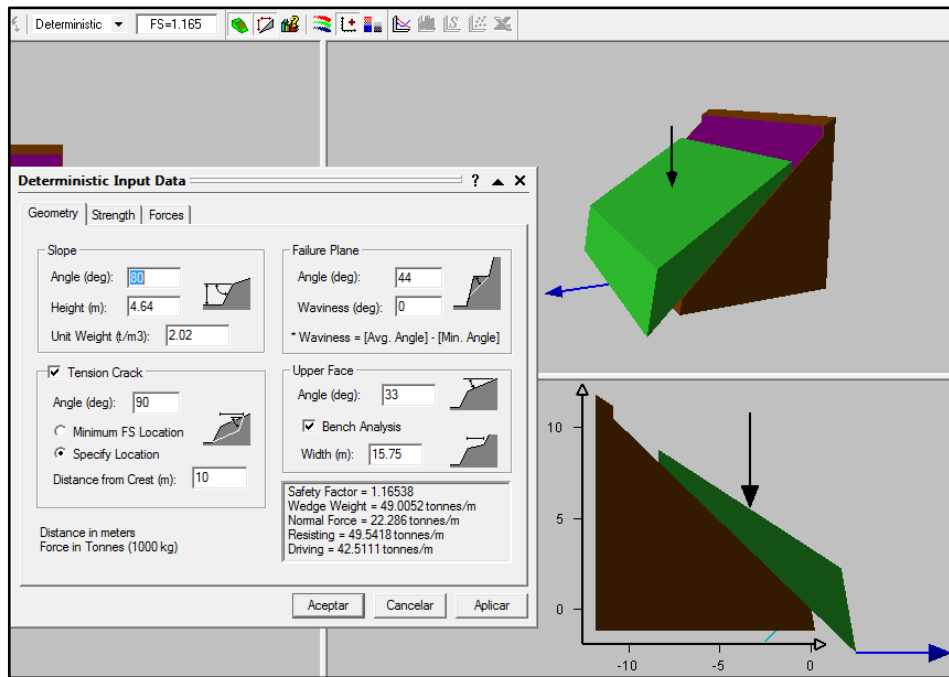
## ANALISIS FALLA PLANAR SOFTWARE ROCPLANE TALUD CENTRAL

**Figura 26.** Talud central antes de deslizamiento 2013. Condición Estática. Parámetros de resistencia obtenidos de ensayos de laboratorio.

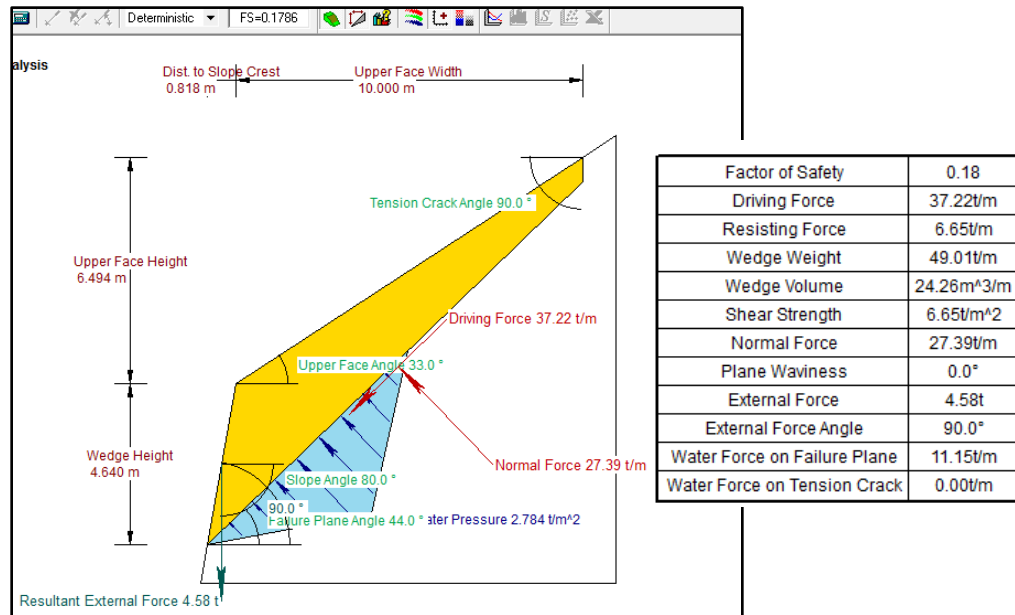
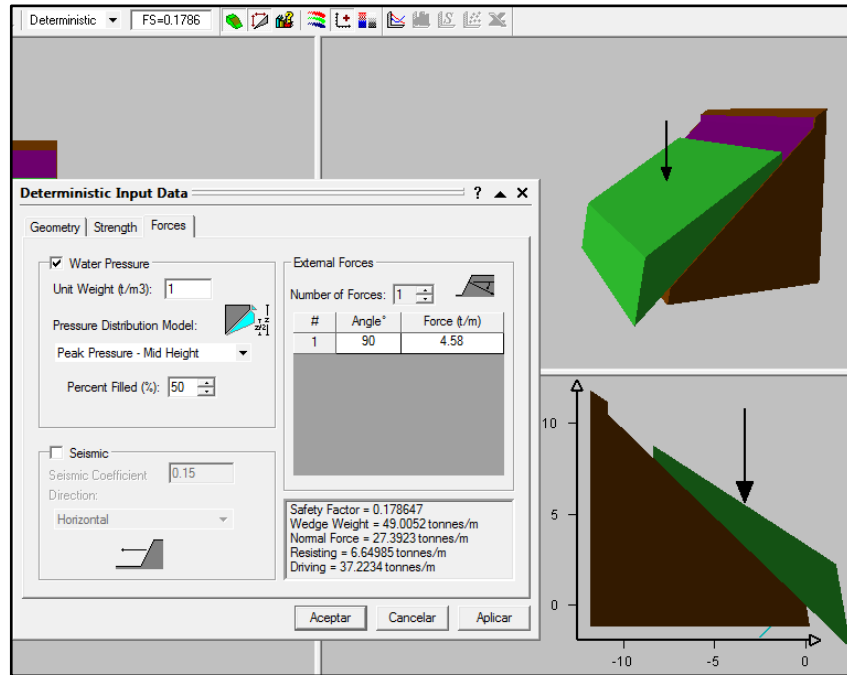


Fuente: Autor.

**Figura 27.** Talud central antes de deslizamiento 2013. Condición Dinámica. Parámetros de resistencia obtenidos de ensayos de laboratorio.

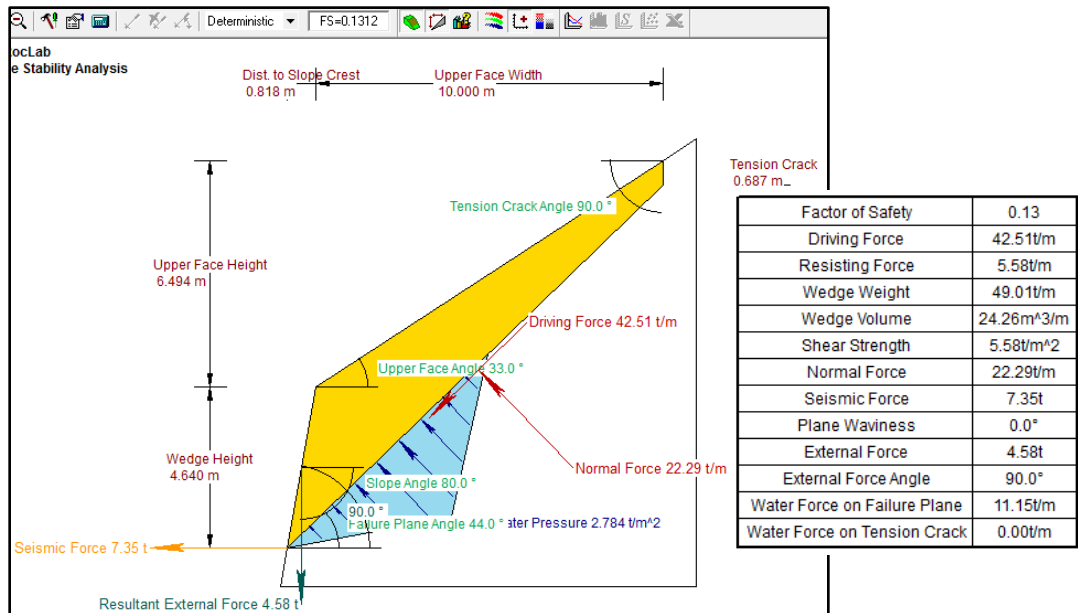
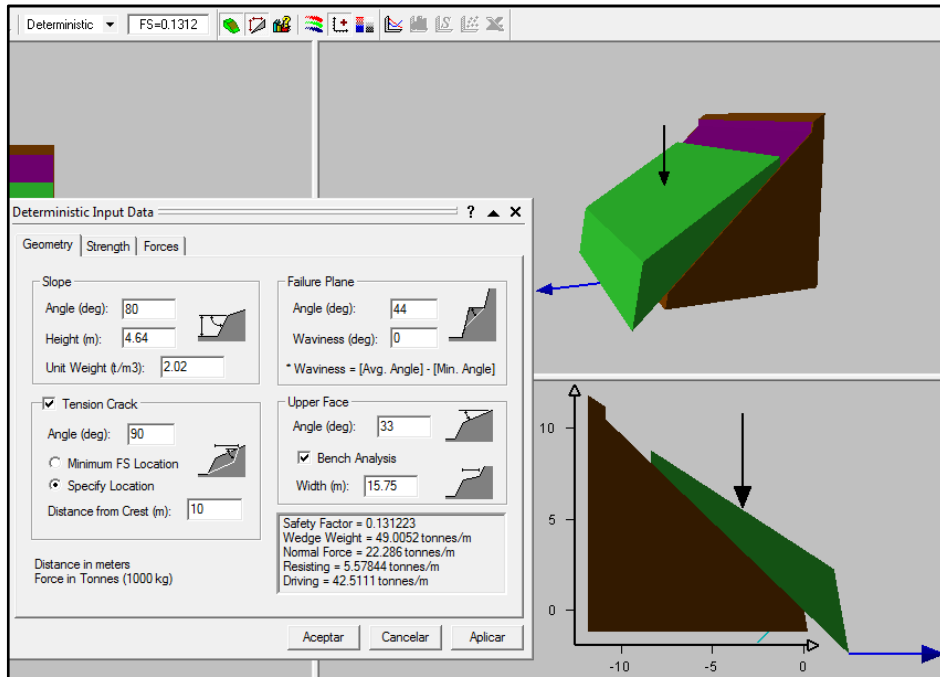


**Figura 28.** Talud central antes de deslizamiento 2013. Condición Estática. Parámetros de resistencia obtenidos de RocLab.



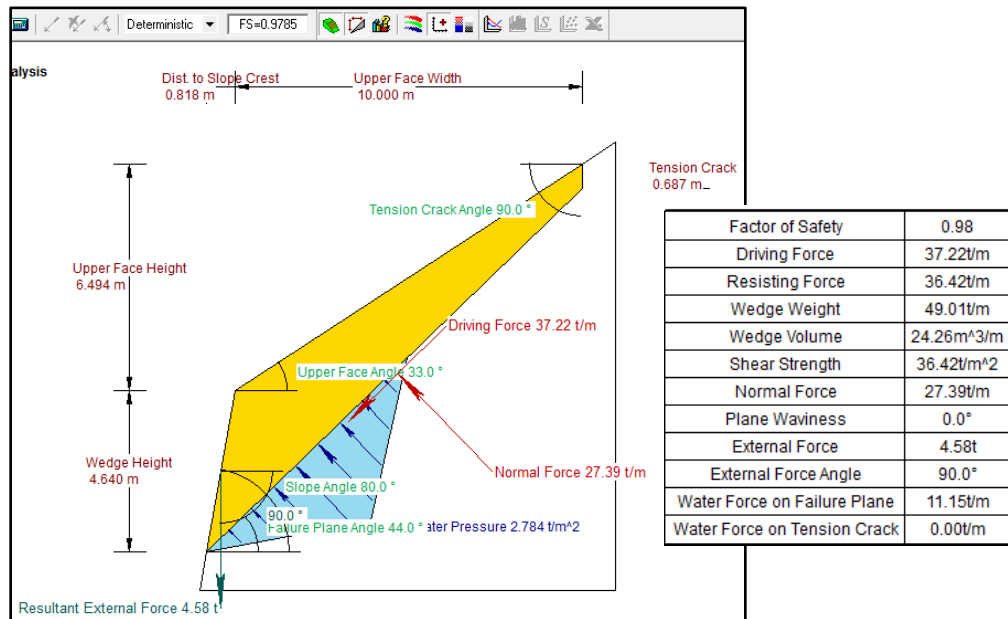
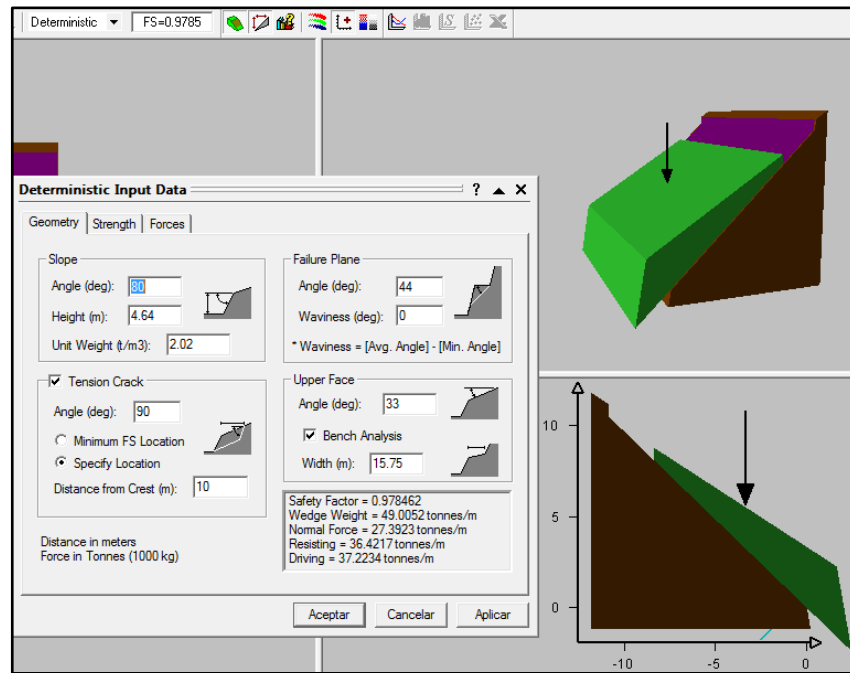
Fuente: Autor.

**Figura 29.** Talud central antes de deslizamiento 2013. Condición Dinámica. Parámetros de resistencia obtenidos de RocLab.



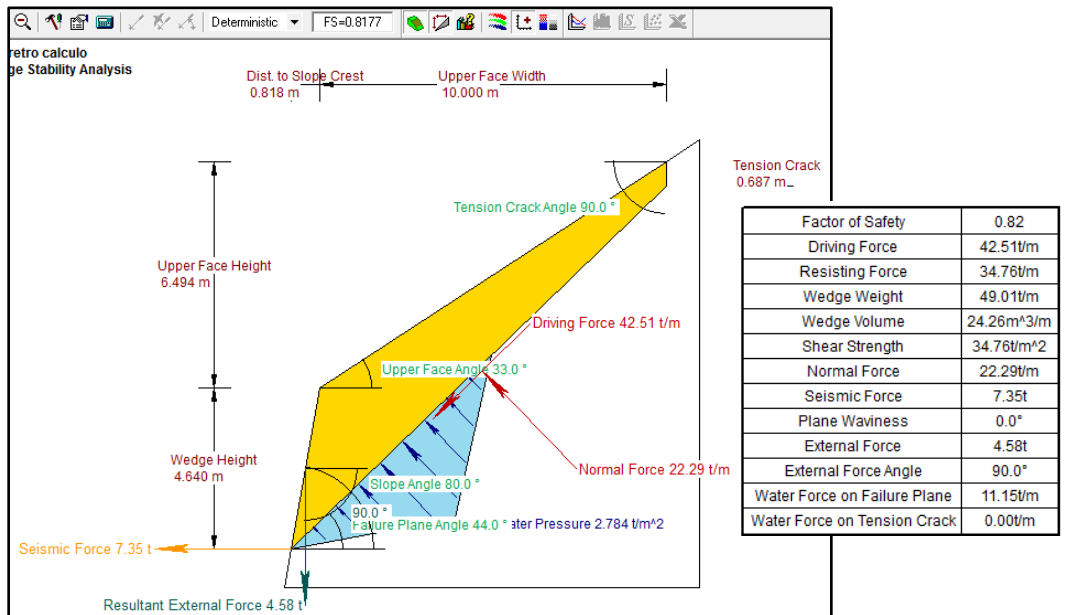
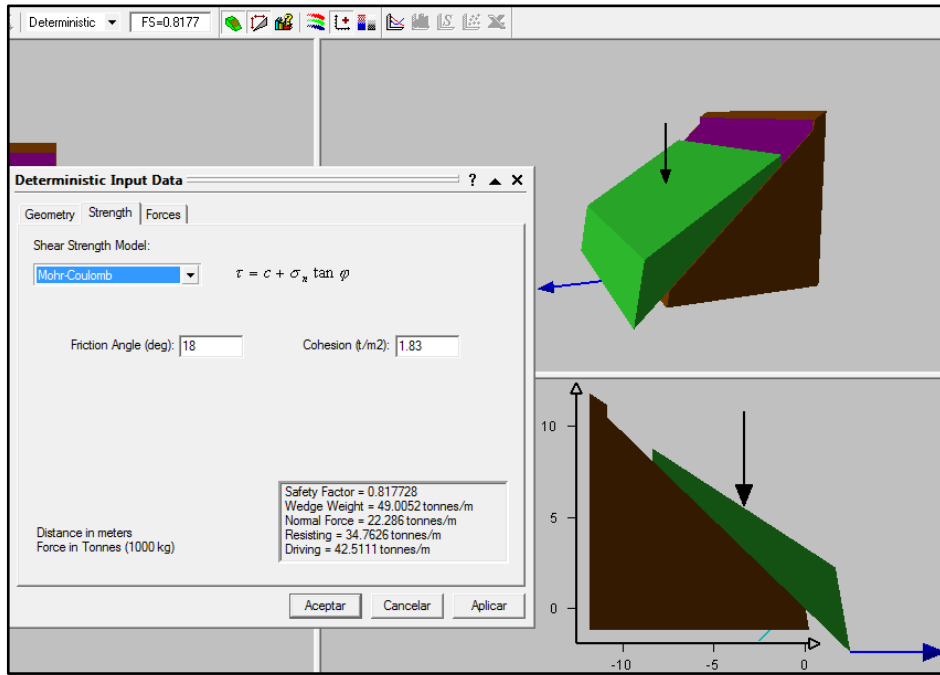
Fuente: Autor.

**Figura 30.** Talud central antes de deslizamiento 2013. Condición Estática. Parámetros de resistencia obtenidos con Retro Cálculo.



Fuente: Autor.

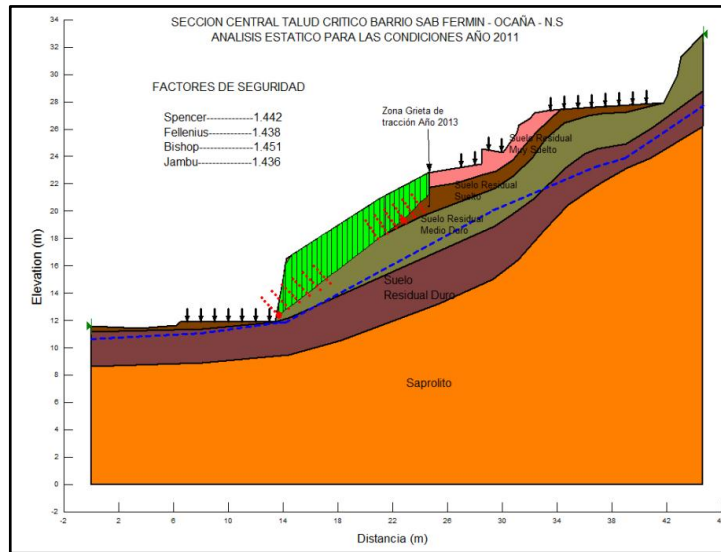
**Figura 31.** Talud central antes de deslizamiento 2013. Condición Dinámica. Parámetros de resistencia obtenidos con Retro Cálculo.



Fuente: Autor.

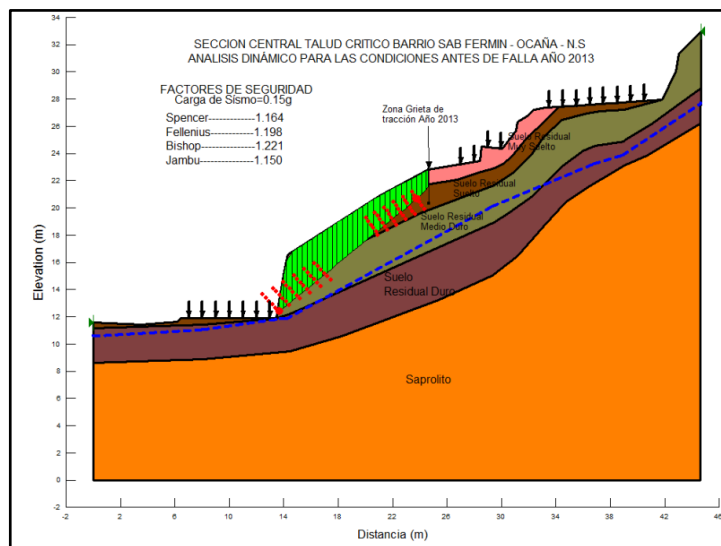
## ANALISIS FALLA EN BLOQUE SOFTWARE SLOPE/W TALUD CENTRAL

**Figura 32.** Talud central antes de deslizamiento 2013. Condición Estática. Parámetros de resistencia obtenidos de ensayos de laboratorio.



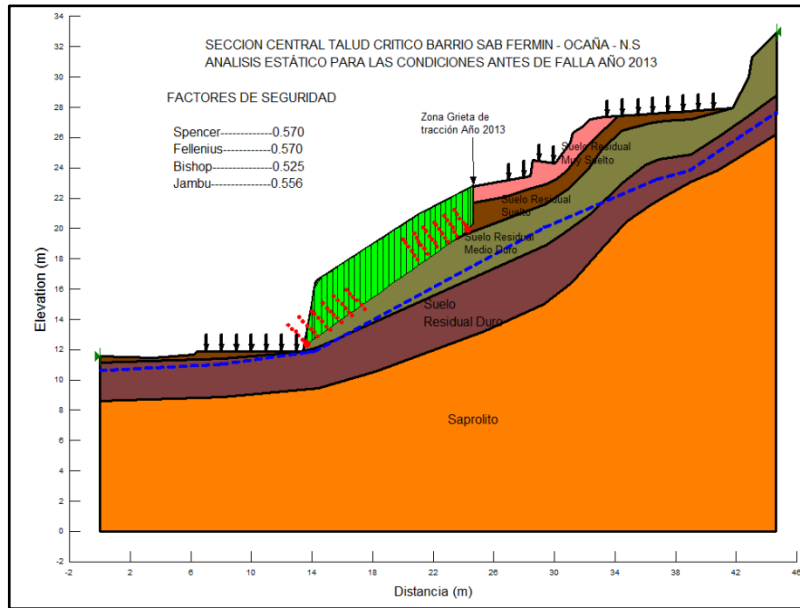
Fuente: Autor.

**Figura 33.** Talud central antes de deslizamiento 2013. Condición Dinámica. Parámetros de resistencia obtenidos de ensayos de laboratorio.



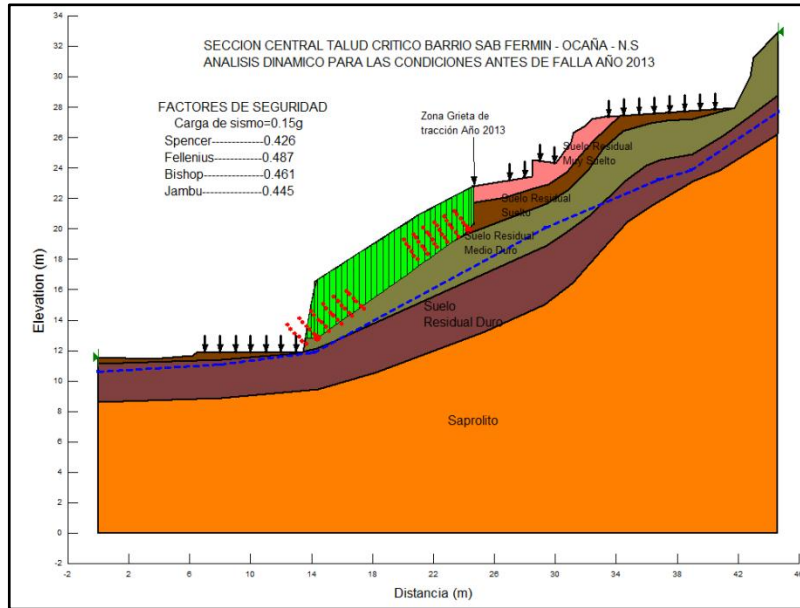
Fuente: Autor.

**Figura 34.** Talud central antes de deslizamiento 2013. Condición Estática. Parámetros de resistencia obtenidos del software RocLab.



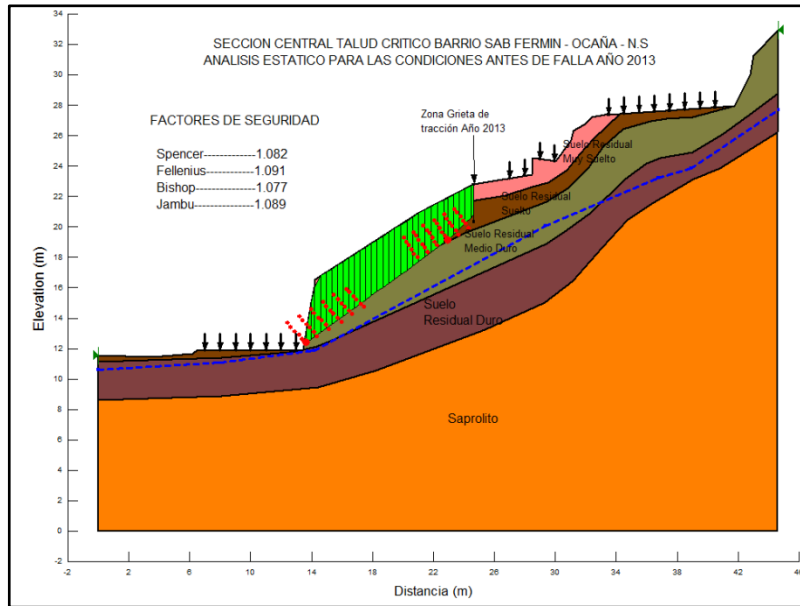
Fuente: Autor.

**Figura 35.** Talud central antes de deslizamiento 2013. Condición Estática. Parámetros de resistencia obtenidos del software RocLab.



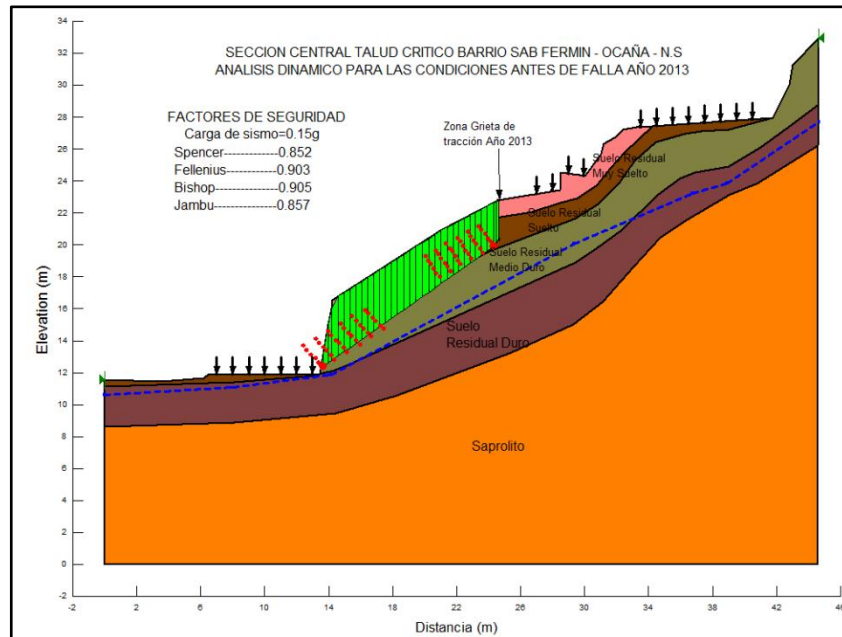
Fuente: Autor.

**Figura 36.** Talud central antes de deslizamiento 2013. Condición Estática. Parámetros de resistencia obtenidos de Retro Cálculo.



Fuente: Autor.

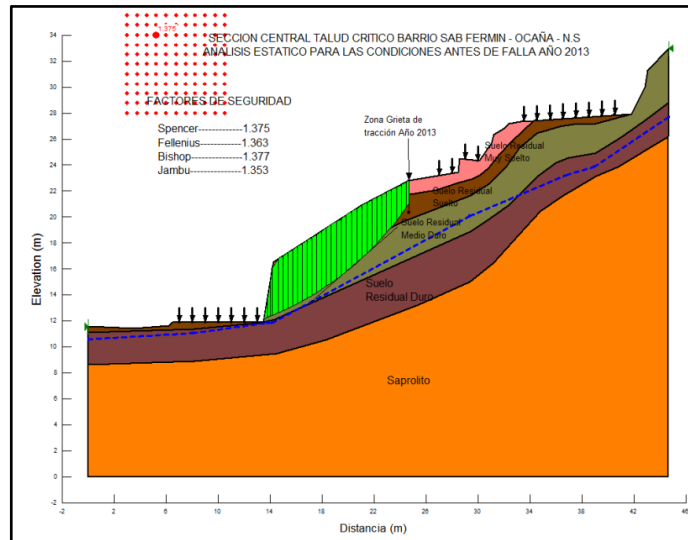
**Figura 37.** Talud central antes de deslizamiento 2013. Condición Dinámica. Parámetros de resistencia obtenidos de Retro Cálculo.



Fuente: Autor.

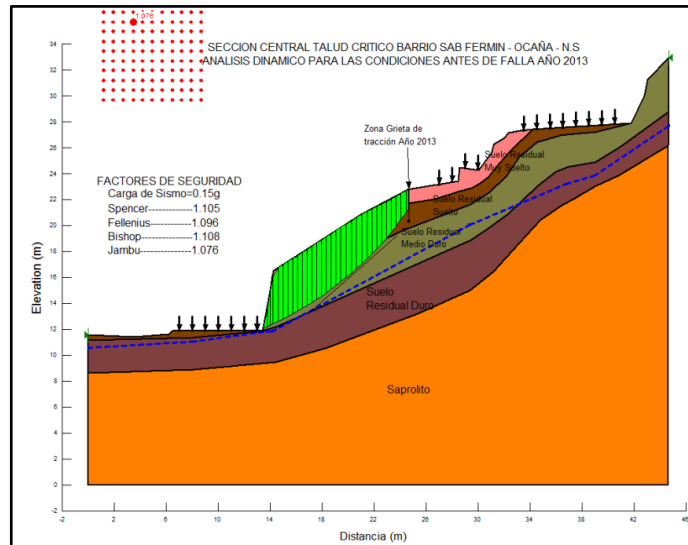
## ANALISIS FALLA CIRCULAR SOFTWARE SLOPE/W

**Figura 38.** Talud central antes de deslizamiento 2013. Condición Estática. Parámetros de resistencia obtenidos de ensayos de laboratorio.



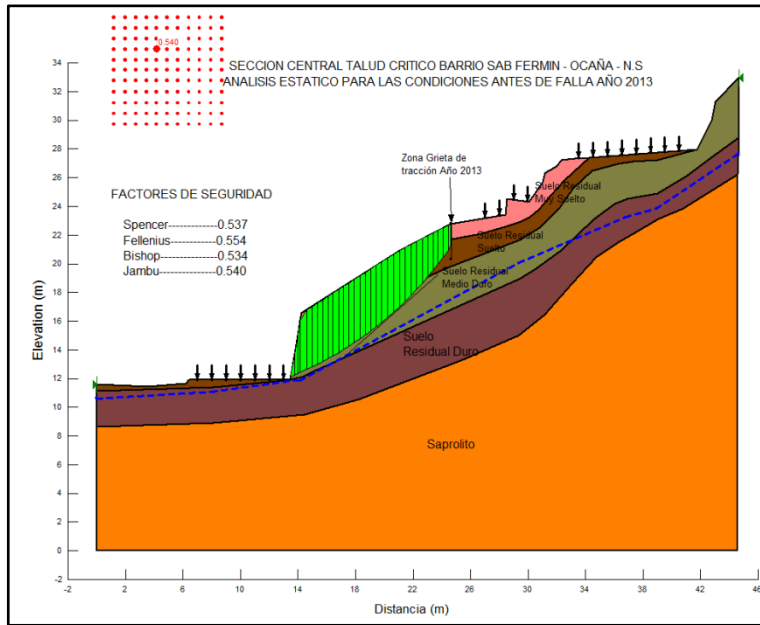
Fuente: Autor.

**Figura 39.** Talud central antes de deslizamiento 2013. Condición Dinámica. Parámetros de resistencia obtenidos de ensayos de laboratorio.



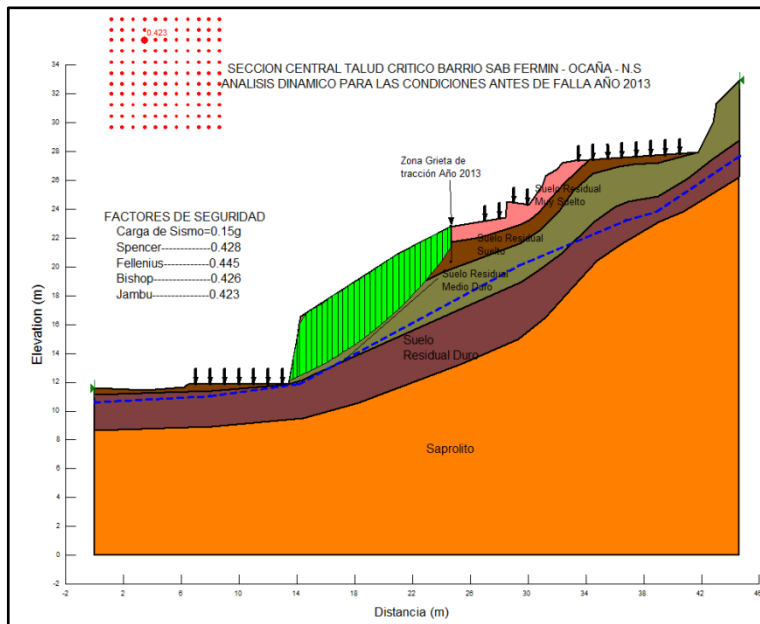
Fuente: Autor.

**Figura 40.** Talud central antes de deslizamiento 2013. Condición Estática. Parámetros de resistencia obtenidos de RocLab.



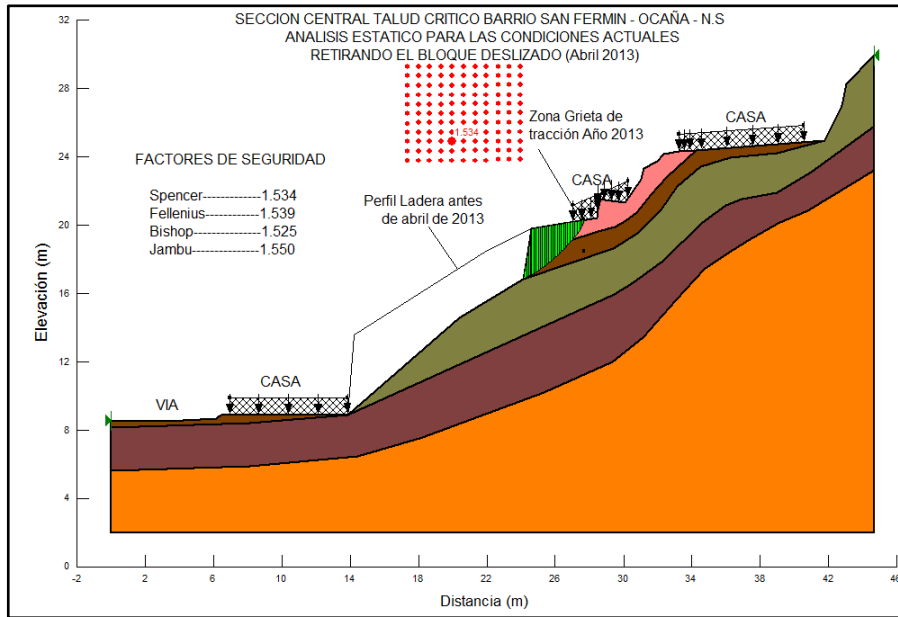
Fuente: Autor.

**Figura 41.** Talud central antes de deslizamiento 2013. Condición Dinámica. Parámetros de resistencia obtenidos de RocLab.



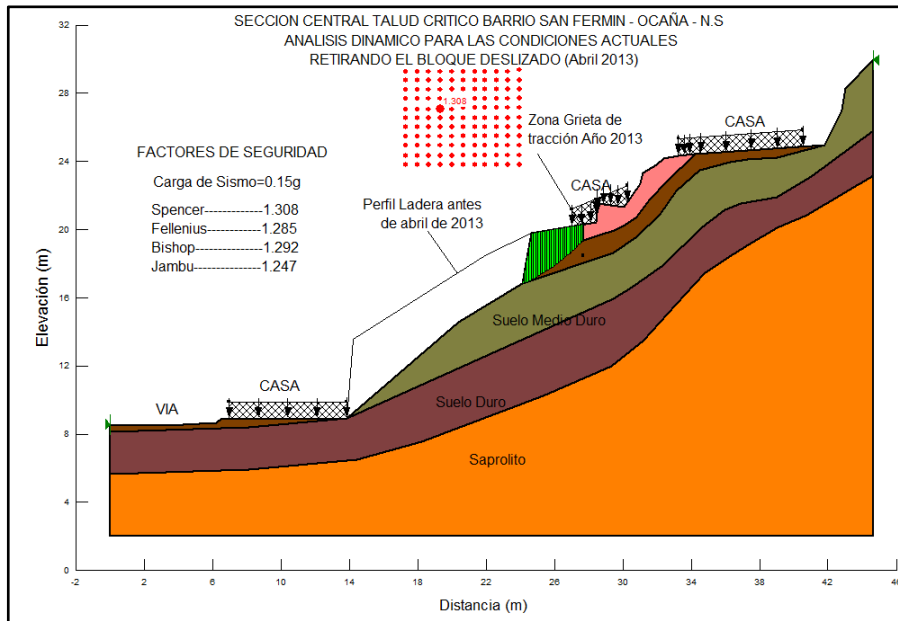
Fuente: Autor.

**Figura 42.** Talud central actual. Condición Estática. Parámetros de resistencia obtenidos de Retro Cálculo.



Fuente: Autor.

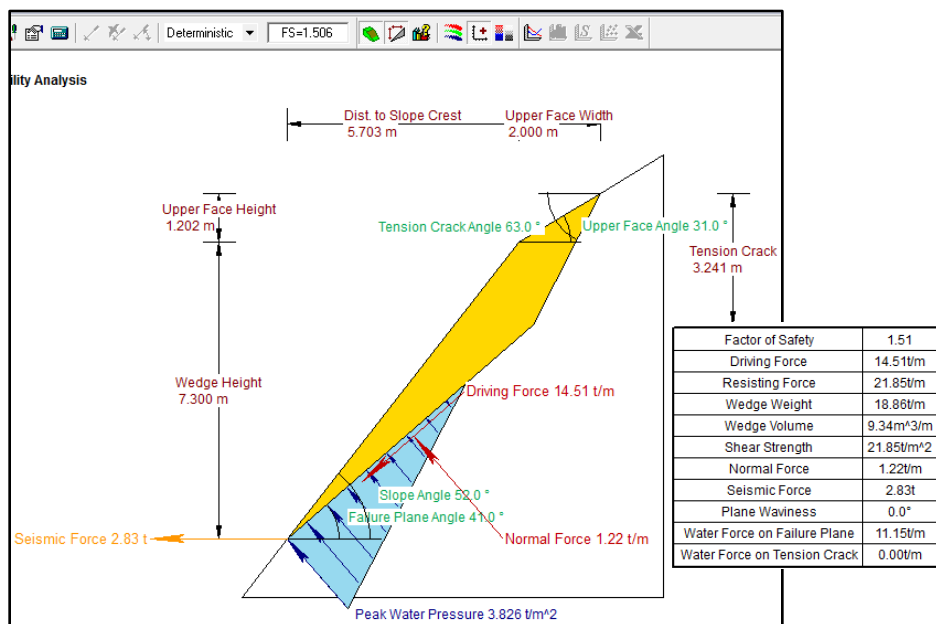
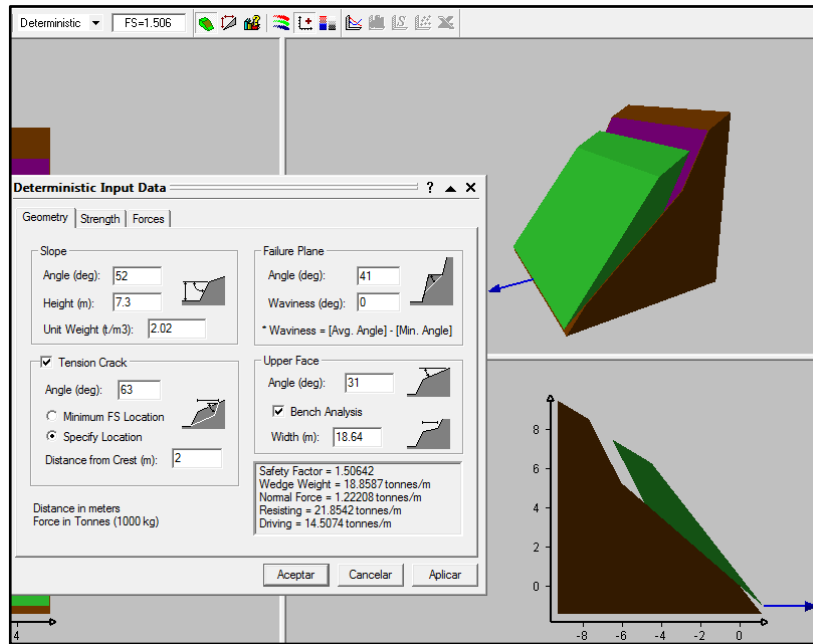
**Figura 43.** Talud central actual. Condición Dinámica. Parámetros de resistencia obtenidos de Retro Cálculo.



Fuente: Autor

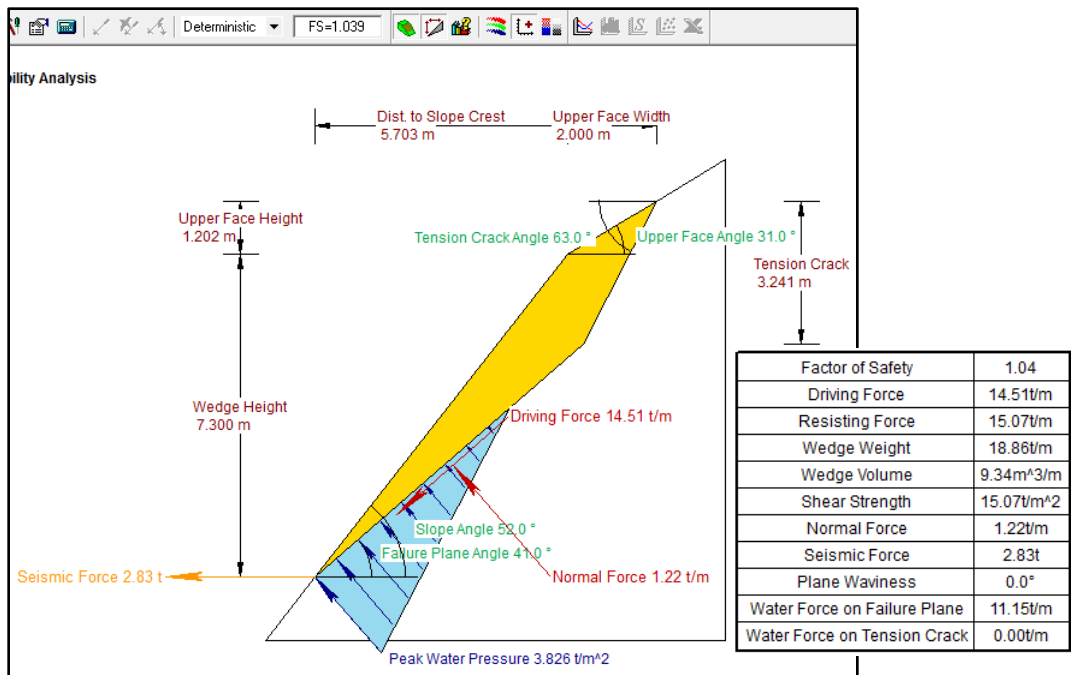
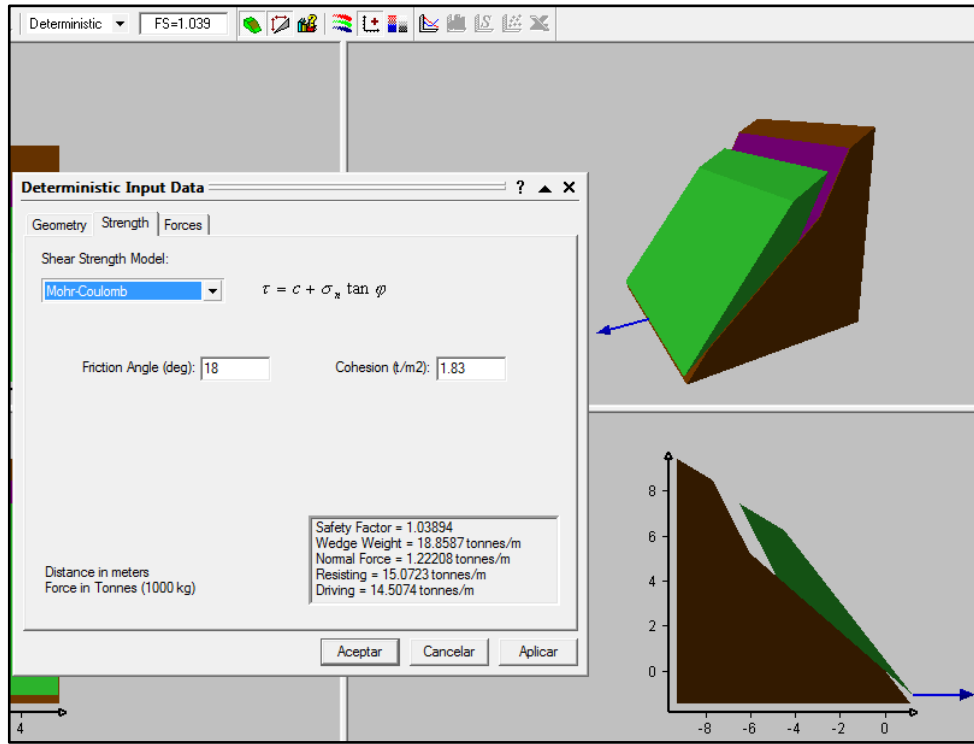
## ANALISIS FALLA PLANAR SOFTWARE ROCPLANE TALUD IZQUIERDO

**Figura 44.** Talud izquierdo antes de deslizamiento 2012. Condición Dinámica. Parámetros de resistencia obtenidos de ensayos de laboratorio.



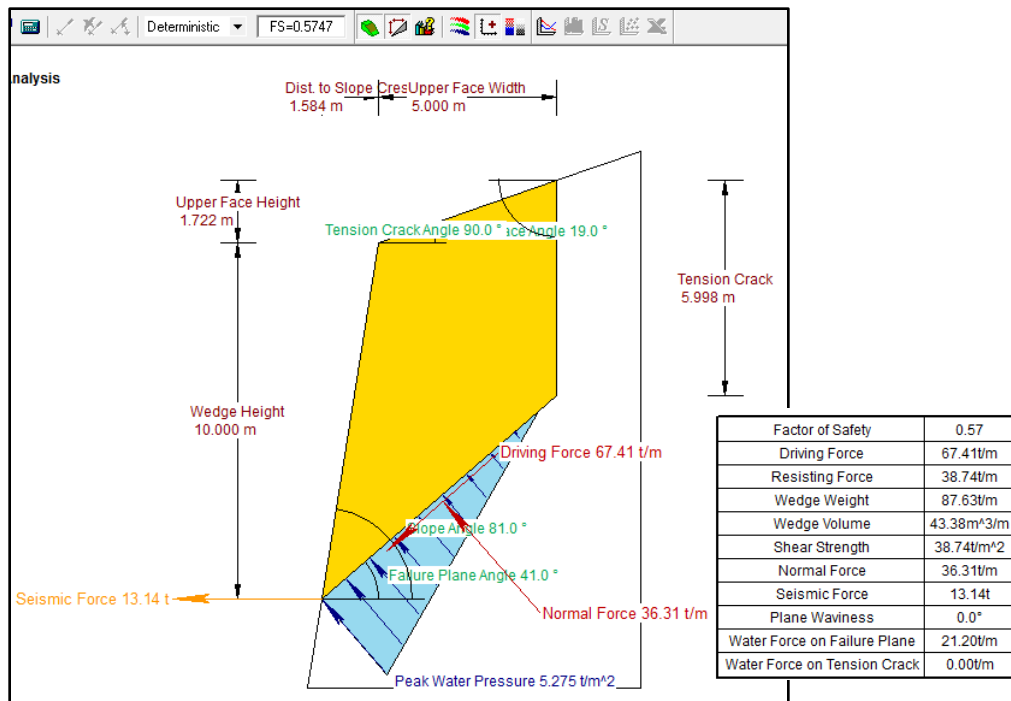
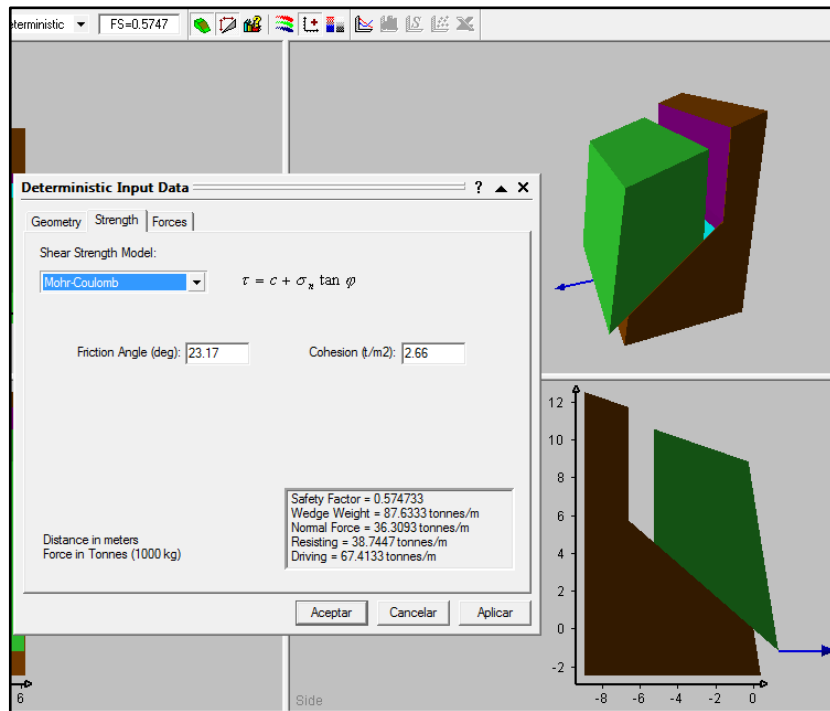
Fuente: Autor.

**Figura 45.** Talud izquierdo antes de deslizamiento 2012. Condición Dinámica.  
Parámetros de resistencia obtenidos con Retro Cálculo



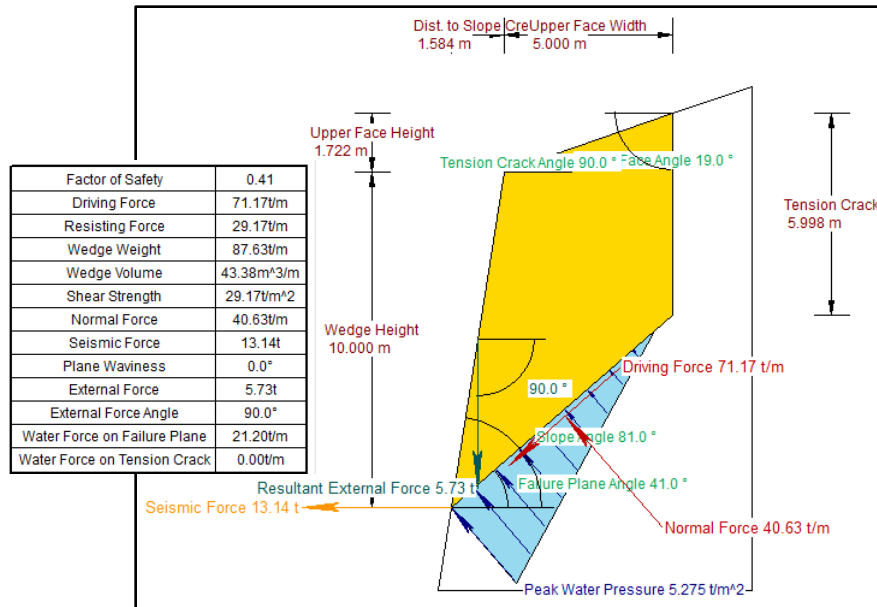
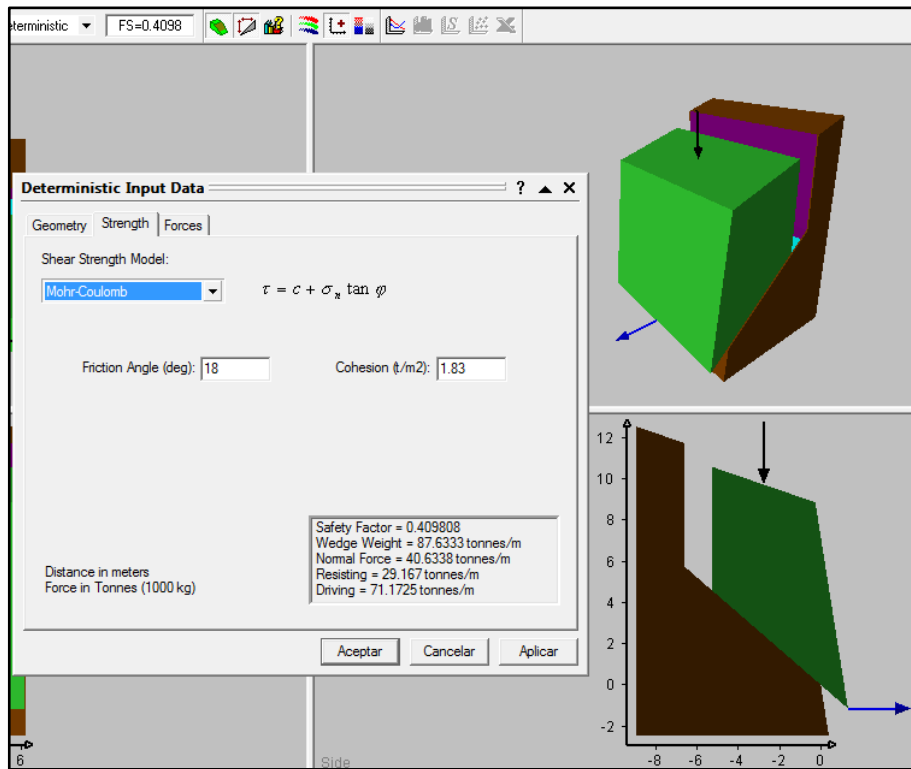
Fuente: Autor.

**Figura 46.** Talud izquierdo estado actual. Condición Dinámica. Parámetros de resistencia obtenidos de ensayos de laboratorio.



Fuente: Autor.

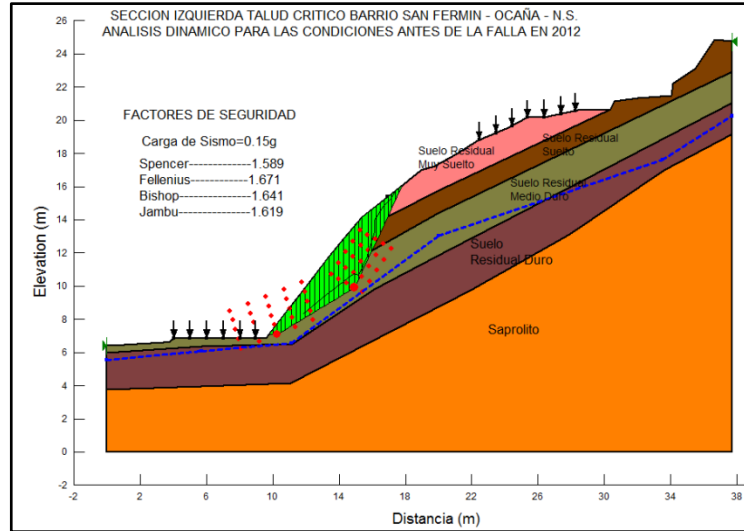
**Figura 47.** Talud izquierdo estado actual. Condición Dinámica. Parámetros de resistencia obtenidos con retro cálculo.



Fuete: Autor.

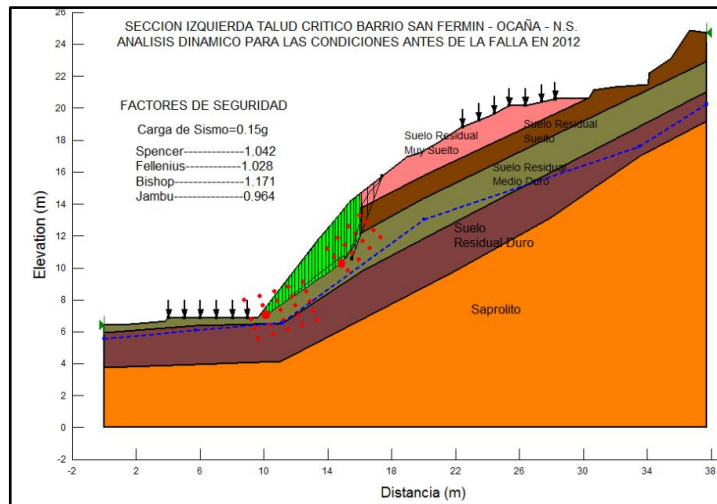
## ANALISIS PARA FALLA EN BLOQUE CON SOFTWARE SLOPE/W TALUD IZQUIERDO

**Figura 48.** Talud izquierdo estado antes del deslizamiento de 2012. Condición Dinámica. Parámetros de resistencia obtenidos con ensayos de laboratorio.



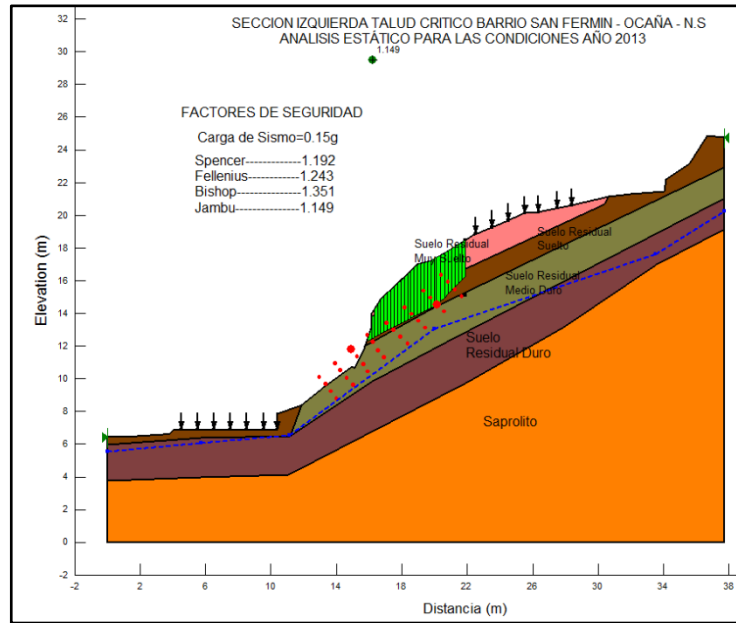
Fuente: Autor.

**Figura 49.** Talud izquierdo estado antes del deslizamiento de 2012. Condición Dinámica. Parámetros de resistencia obtenidos con retro cálculo.



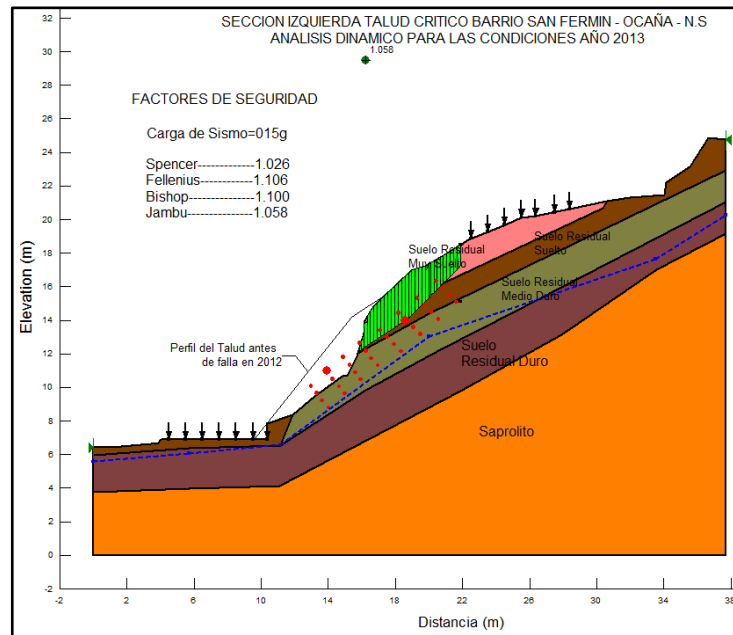
Fuente: Autor.

**Figura 50.** Talud izquierdo estado después del deslizamiento de 2012. Condición Dinámica. Parámetros de resistencia obtenidos con ensayos de laboratorio.



Fuente: Autor.

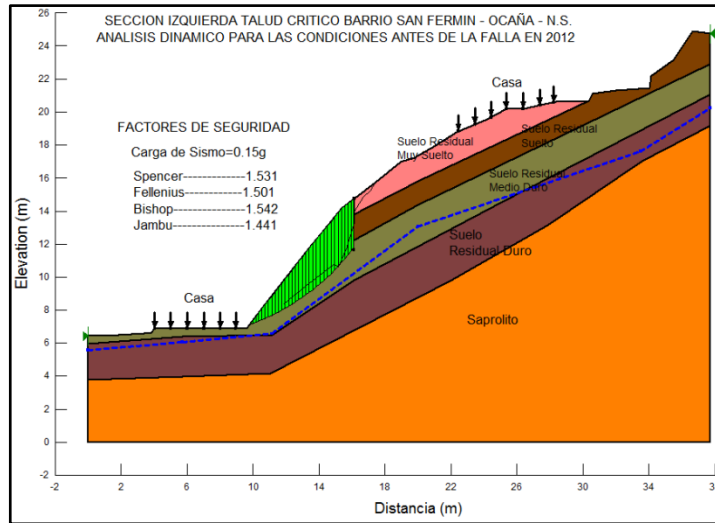
**Figura 51.** Talud izquierdo estado después del deslizamiento de 2012. Condición Dinámica. Parámetros de resistencia obtenidos con retro cálculo.



Fuente: Autor.

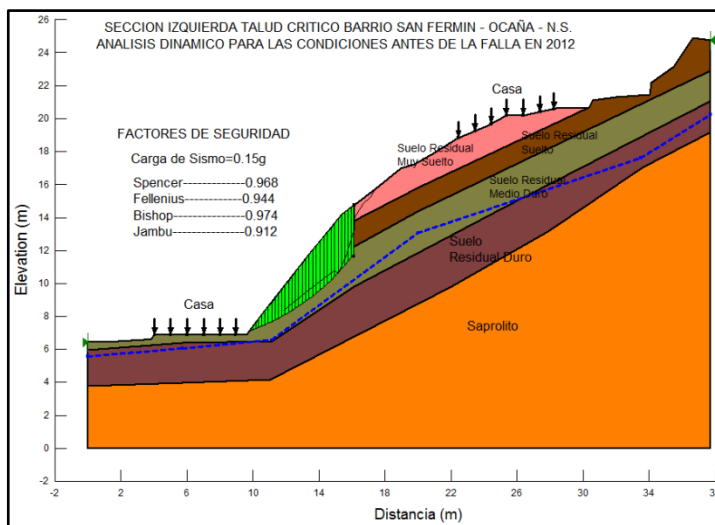
## ANALISIS PARA FALLA CIRCULAR CON SOFTWARE SLOPE/W TALUD IZQUIERDO

**Figura 52.** Talud izquierdo estado antes del deslizamiento de 2012. Condición Dinámica. Parámetros de resistencia obtenidos con ensayos de laboratorio.



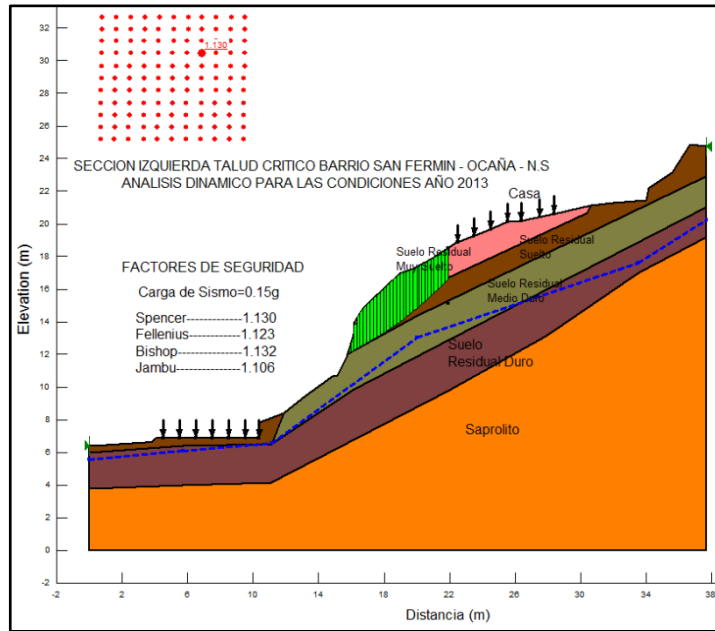
Fuente: Autor.

**Figura 53.** Talud izquierdo estado antes del deslizamiento de 2012. Condición Dinámica. Parámetros de resistencia obtenidos con retro cálculo.



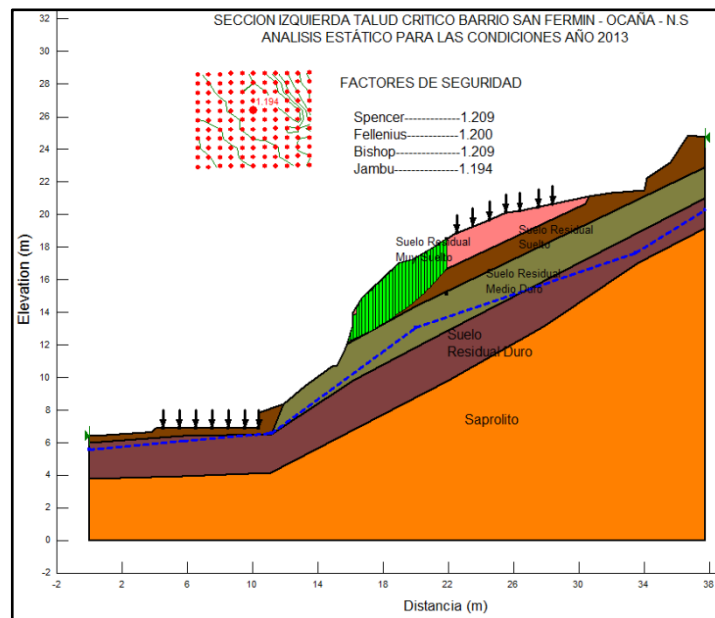
Fuente: Autor.

**Figura 54.** Talud izquierdo estado después del deslizamiento de 2012. Condición Dinámica. Parámetros de resistencia obtenidos con ensayos de laboratorio.



Fuente: Autor.

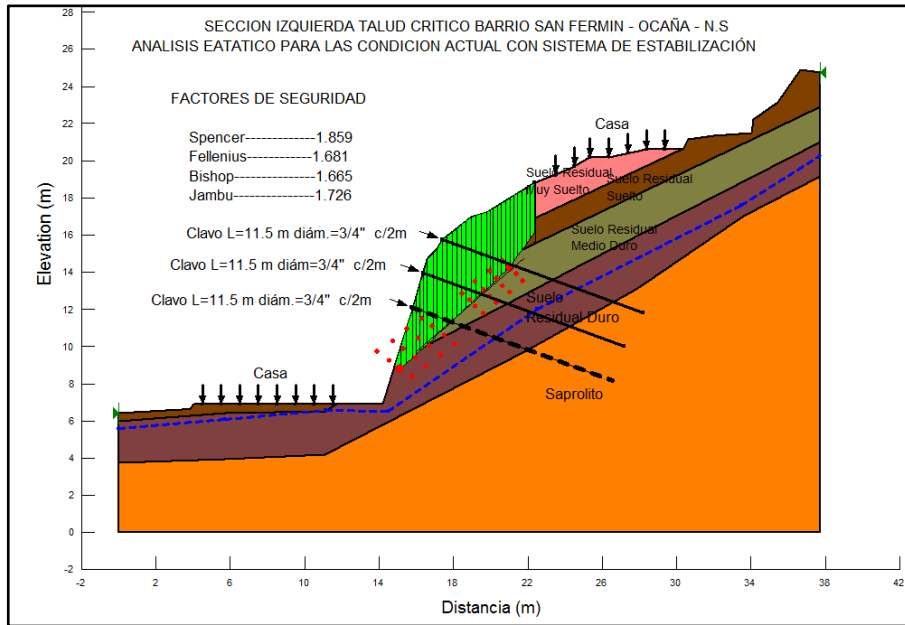
**Figura 55.** Talud izquierdo estado después del deslizamiento de 2012. Condición Dinámica. Parámetros de resistencia obtenidos con retro cálculo.



Fuente: Autor.

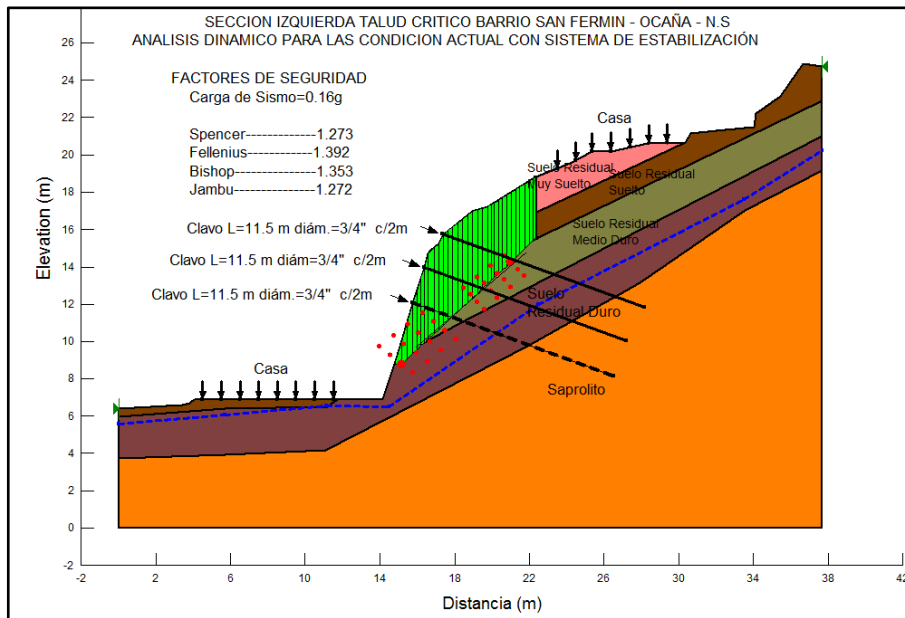
**Anexo I. Resultados comprobación de estabilidad con obras de mitigación**

**Figura 56.** Talud izquierdo (perfil 1) con obras de estabilización. Condición estática. Falla traslacional (Bloque).



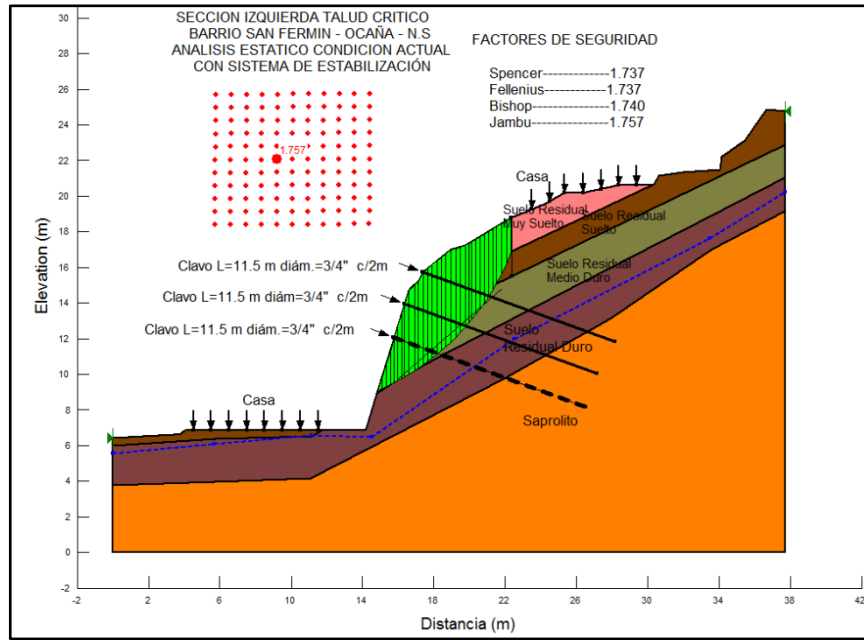
Fuente: Autor.

**Figura 57.** Talud izquierdo (perfil 1) con obras de estabilización. Condición dinámica. Falla traslacional (Bloque).



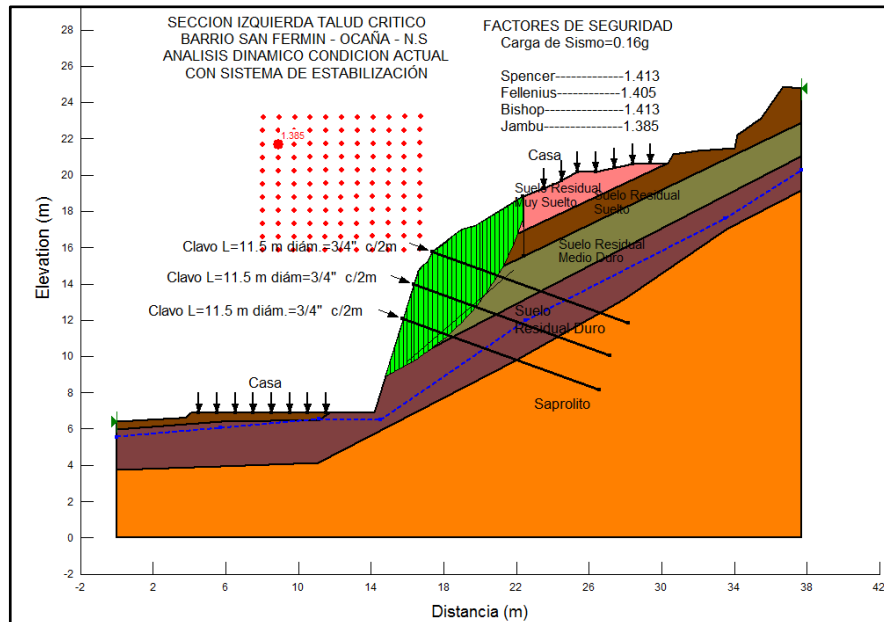
Fuente: Autor.

**Figura 58.** Talud izquierdo (perfil 1) con obras de estabilización. Condición estática. Falla rotacional.



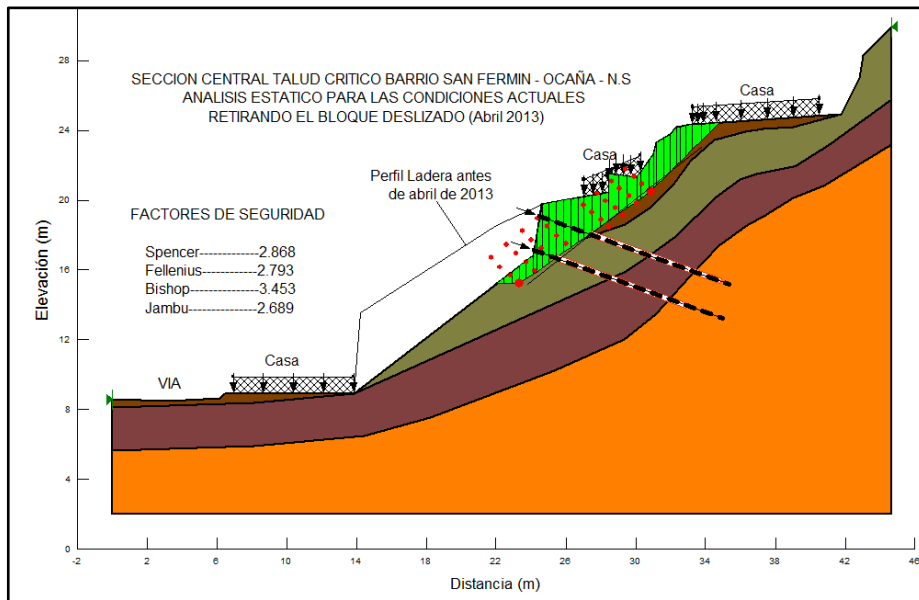
Fuente: Autor.

**Figura 59.** Talud izquierdo (perfil 1) con obras de estabilización. Condición dinámica. Falla rotacional.



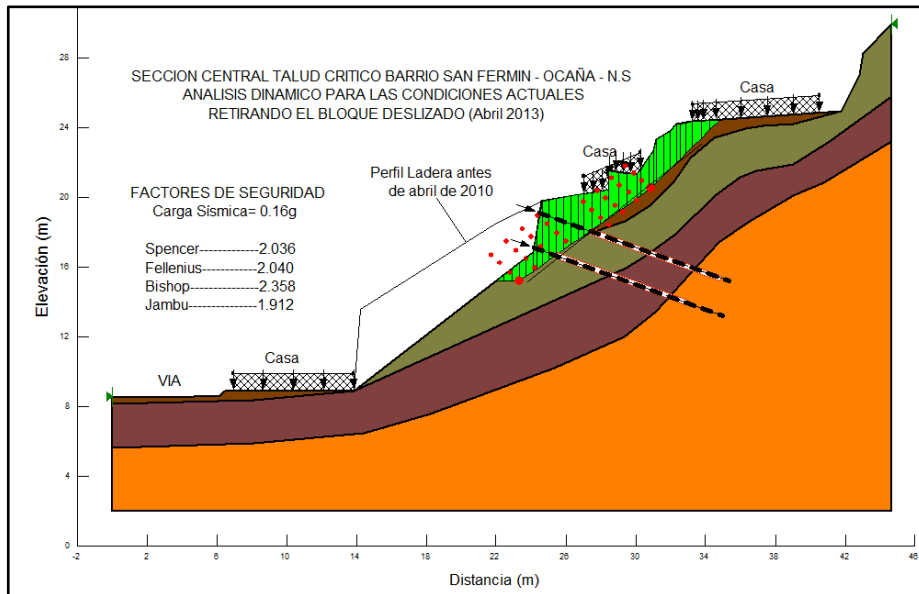
Fuente: Autor.

**Figura 60.** Talud central (perfil 2) con obras de estabilización. Condición estática. Falla traslacional (Bloque).



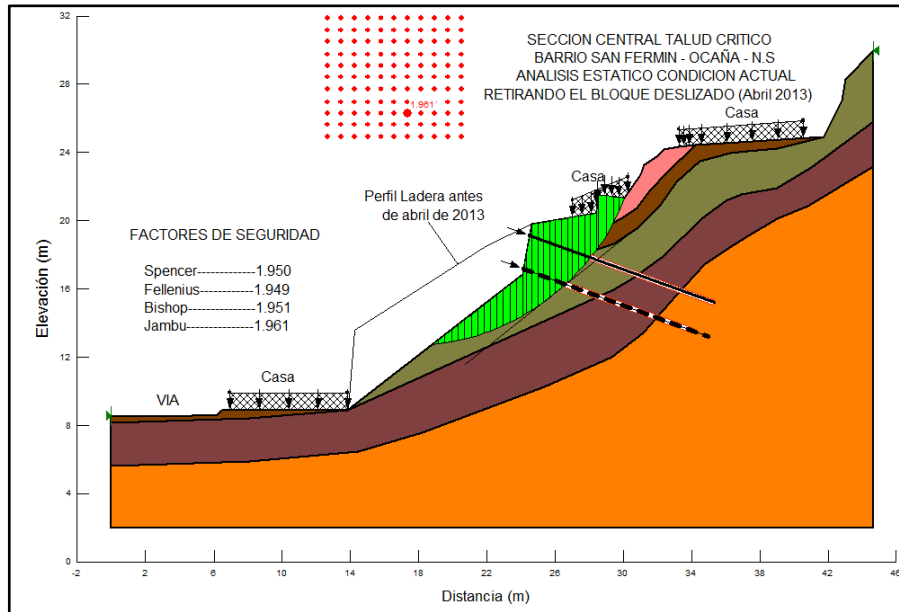
Fuente: Autor.

**Figura 61.** Talud central (perfil 2) con obras de estabilización. Condición dinámica. Falla traslacional (Bloque).



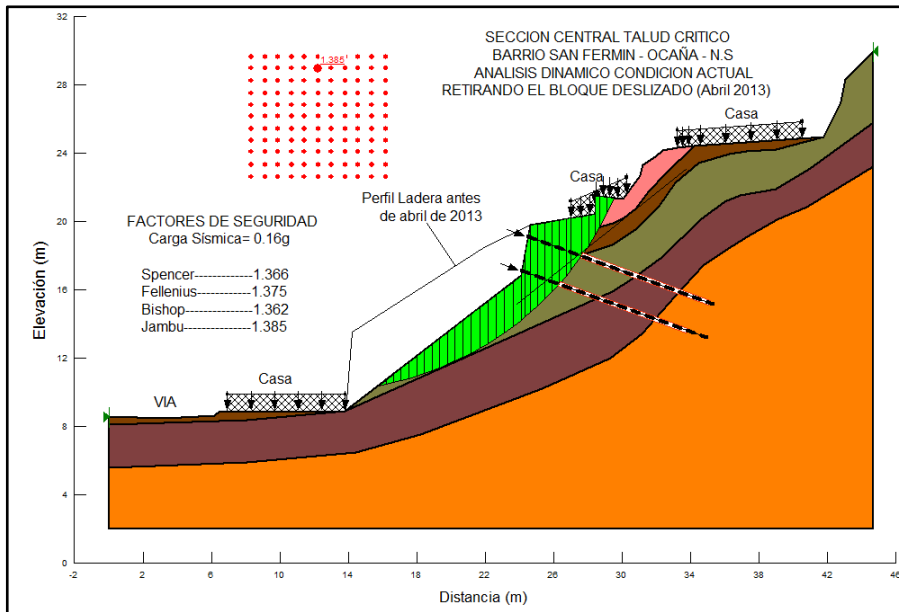
Fuente: Autor.

**Figura 62.** Talud central (perfil 2) con obras de estabilización. Condición estática. Falla rotacional. Caso 1: Falla en la parte media.



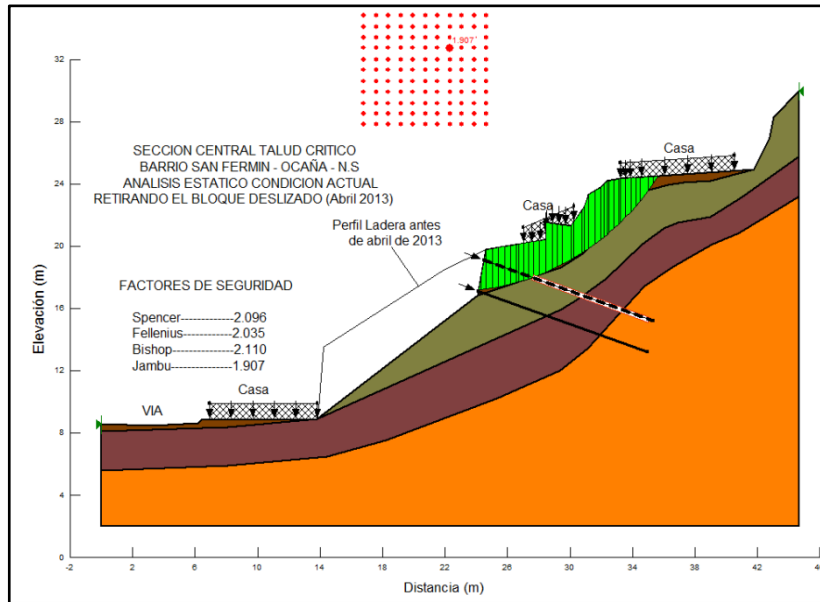
Fuente: Autor.

**Figura 63.** Talud central (perfil 2) con obras de estabilización. Condición dinámica. Falla rotacional. Caso 1: Falla en la parte media.



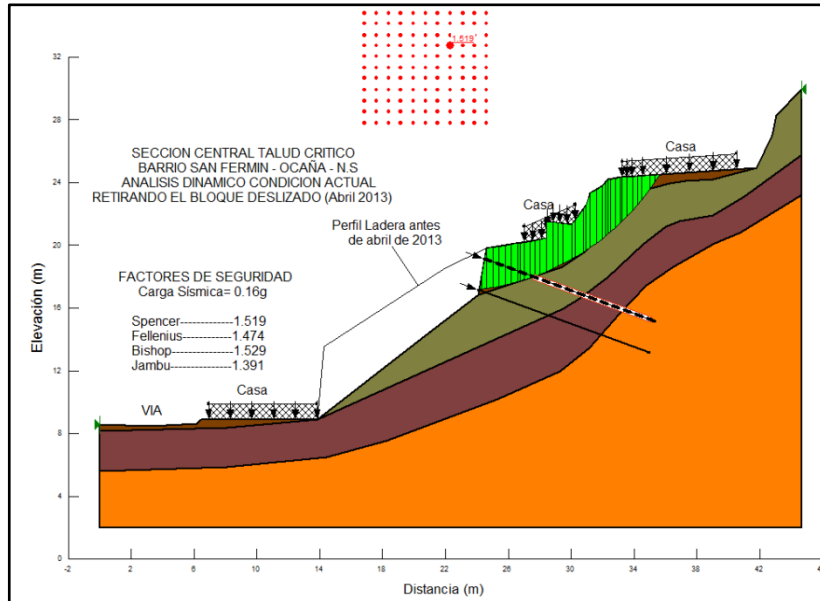
Fuente: Autor.

**Figura 64.** Talud central (perfil 2) con obras de estabilización. Condición estática. Falla rotacional. Caso 2: Falla en la parte alta



Fuente: Autor.

**Figura 65.** Talud central (perfil 2) con obras de estabilización. Condición dinámica. Falla rotacional. Caso 1: Falla en la parte alta.



Fuente: Autor.