

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA CIVIL

TRABAJO DE DISERTACIÓN DE TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA EN TALUDES MODELADOS A ESCALA CON ÁNGULOS DE INCLINACIÓN DE 15°,30° Y 45°, RECUBIERTOS CON GEOMANTOS DE FIBRA DE COCO Y SINTÉTICO, PARA ESTABILIZACIÓN Y CONTROL DE EROSIÓN.

SAID FERNANDO ONOFA LOMAS.
ROSARIO CAROLINA VILLALBA SALGADO.

DIRECTOR: ING. JORGE ALBÚJA, MSC

QUITO, 2021

DECLARACIÓN DE PROPIEDAD DE TRABAJO

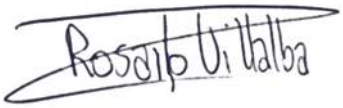
Certifico que entiendo el significado de plagio y que el trabajo presentado para esta asignación de curso es mi propio trabajo, excepto donde específicamente se indique lo contrario. Al firmar este documento, estoy de acuerdo en que este trabajo puede ser sometido a una prueba electrónica de plagio en cualquier momento y ofreceré una versión adicional de este trabajo en un formato apropiado cuando se solicite:

Nombre: SAID FERNANDO ONOFA LOMAS. **ID:** 1723896187



Firma: _____

Nombre: ROSARIO CAROLINA VILLALBA SALGADO. **ID:** 1725322919



Firma: _____

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestra gratitud hacia la Facultad de Ingeniería y al Laboratorio de Materiales de Construcción y Mecánica de Suelos de la PUCE, a los profesionales quienes lo conforman por habernos abierto las puertas y habernos ayudado incondicionalmente en sacar adelante esta investigación, en especial a nuestro Director Ing. Jorge Albúja Msc., por brindarnos su apoyo, confianza y guía profesional para la ejecución de este proyecto de disertación.

También, un profundo agradecimiento a los Ingenieros Guillermo Realpe y Juan Carlos Montero por habernos impartido sus conocimientos tanto dentro como fuera de clases y por sabernos guiar profesionalmente.

A nuestros compañeros con los cuáles de la mano hemos salido adelante desde el inicio de nuestra formación, superándonos y alcanzado nuestras metas personales y profesionales para hoy poder llamarnos colegas de vida y profesión.

Es para nosotros un verdadero placer el utilizar este espacio para hacer mención justa y agradecer a cada uno de los partícipes de esta investigación.

DEDICATORIA

Lleno de cariño y mucha ilusión, quiero dedicar esta investigación;

A mis padres Fernando y Sandra quienes han sido y serán el pilar fundamental en mi vida personal y ahora profesional. Quienes con mucho amor han sabido llenarme de valores y brindarme su apoyo guiándome por el camino del bien y de lo justo.

A mi hermano Abdul que es mi motivación para ser cada día mejor, por estar siempre conmigo y corregirme cuando fue necesario.

También a Dios quién supo guiarme y brindarme fortaleza en cada paso de mi vida para salir adelante.

Said Onofa

Dedico esta investigación primeramente a Dios por siempre guiarme a cumplir mis sueños, a Verónica y Gustavo quienes son mi ejemplo de vida al ser unos excelentes padres llenos de muchos valores y amor, gracias porque siempre estuvieron a mi lado apoyándome incondicionalmente y cuidando de mí en esta etapa de mi vida.

Mis hermanos Christian y Vero, son mis ángeles gracias por siempre estar a mi lado aconsejándome e inspirándome a seguir adelante superando cada obstáculo que se me presente.

Rosario Villalba

RESUMEN

Los taludes son superficies inclinadas con respecto a la horizontal, técnicamente se define como talud al conformarse artificialmente por intervención humana y ladera cuando su origen es producto de un proceso natural. La estabilización de taludes es una obra de importancia ingenieril de primer orden, debido a que se establecen medidas de prevención y control para mitigar o eliminar el riesgo de provocar un deslizamiento, de manera que aporta al desarrollo urbano y vial. En la presente investigación se realizó un estudio sobre la estabilidad y control de erosión en taludes bajo influencia de precipitación y escorrentía, se hizo un análisis comparativo con arena limosa, los mismos fueron modelados a escala con diferentes ángulos de inclinación 15°, 30° y 45°.

Para iniciar la ejecución de este proyecto se empezó por los ensayos de mecánica de suelos como: clasificación de suelos SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), próctor modificado y corte directo, permitiéndonos determinar las características y parámetros resistentes de suelo para una correcta compactación de las muestras. Después se hicieron ensayos de rotura y elongación en base a la norma ASTM D6818 a los geomantos para el control de erosión. Posteriormente se procedió a realizar el ensayo de precipitación y escorrentía en donde se intenta recrear de manera controlada los riegos y se usó como base la norma ASTM D7101 y el ¨Manual de Operación del simulador de lluvia para la cuantificación de la infiltración, escorrentía y erosión de suelos¨, todos estos análisis se llevaron a cabo en el ¨Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de Construcción de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador¨.

Se estudió el comportamiento en tres grupos de control, en el que cada uno se conformó de tres muestras moldeadas con diferentes características en un mismo periodo de tiempo. Con los resultados y observaciones obtenidas se elaboró un análisis comparativo entre los diferentes grupos, estudiando cómo fue la interacción suelo-lluvia y sus efectos adversos, de tal forma que se propone medidas para mitigar riesgos y amenazas de deslizamiento utilizando sistemas de prevención.

Palabras clave:

Talud, Estabilidad, Deslizamientos, Precipitación, Escorrentía

ABSTRACT

The slopes are sloping surfaces with respect to the horizontal, they are called slopes when have being artificially shaped by human intervention and hillside when their origin is the product of a natural process. The stabilization of slopes is a work of first order engineering importance, because prevention and control measures were used to mitigate or eliminate the risk of causing a landslide, in a way that contributes to urban and road development. In the present investigation, a study was carried out on the stability and control of erosion in slopes under the influence of precipitation and runoff, a comparative analysis was made with silty sand and the slopes were modeled at scale with different angles of inclination 15 °, 30 ° and 45 °.

The execution of this project began with the soil mechanics tests such as: SUCS soil classification (Unified Soil Classification System), modified proctor and direct cut, allowing us to determine the characteristics and resistant parameters of the soil for correct compaction of the samples. Then, fracture and elongation tests were made based on the ASTM D6818 standard on the geomants for erosion control. Subsequently, the precipitation and runoff test was carried out in which it is tried to recreate the irrigation in a controlled way and the ASTM D7101 standard and the ¨Rain simulator Operation Manual were used as a basis for the quantification of infiltration, runoff and erosion. of soils ", all these analyzes were carried out in the ¨Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de Construcción de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador¨.

The behavior was studied in three control groups, in which each one was made up of three molded samples with different characteristics in the same period of time. With the results and observations obtained, a comparative analysis was made between the different groups, studying how the soil-rain interaction was and its adverse effects, in such a way that measures are proposed to mitigate risks and threats of landslides using prevention systems.

Keywords:
Slope, Stability, Landslides, Precipitation, Runoff

CONTENIDO

DECLARACIÓN DE PROPIEDAD DE TRABAJO ii

AGRADECIMIENTO iii

DEDICATORIA iv

RESUMEN v

ABSTRACT vi

CONTENIDO vii

ÍNDICE DE FIGURAS xv

ÍNDICE DE GRÁFICOS xx

ÍNDICE DE TABLAS xxii

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS xxv

ÍNDICE DE ESQUEMAS xxix

ÍNDICE DE ANEXOS xxx

1. CAPÍTULO I 1

1.1. Introducción 1

1.2. Justificación 2

1.3. Alcance 5

1.4. Disposición del plan 5

1.5. Objetivos 6

1.5.1. Objetivo principal: 6

1.5.2. Objetivos Específicos: 6

2. CAPÍTULO II: DEFINICIÓN Y PROPIEDADES DE LOS SUELOS 7

2.1. Definición de Suelo: 7

2.2. Definición de Roca: 7

2.3. Mecánica de Suelos: 7

2.4. Descripción cualitativa de los suelos 7

2.4.1. Origen 7

2.4.2. Características de las partículas de los suelos 8

2.4.3. Propiedades Generales de los suelos 10

2.4.4. Diagrama trifásico del suelo 10

2.5. Descripción cuantitativa 11

2.5.1. Relaciones volumétricas y gravimétricas entre las fases del suelo 11

2.5.2. Límites de Atterberg o de consistencia 16

2.5.3. Distribución del tamaño de partículas 20

2.6. Esfuerzo y resistencia al cortante: 30

2.6.1. Envolvente de falla de Mohr-Coulomb 30

2.6.2. Esfuerzo efectivo 32

2.6.3. Cohesión 33

2.6.4. Ángulo de fricción 34

2.6.5. Presión de poros 35

Presiones de poro negativas 36

2.6.6. Succión 36

2.6.7. Coeficiente de permeabilidad 37

2.6.8. Ensayos para obtener los parámetros de resistencia al corte .. 37

3. CAPÍTULO III: ESTABILIDAD DE TALUDES 40

3.1. Talud 40

3.2. Elementos de talud 41

3.3. Causas de los deslizamientos 42

3.4. Clasificación de los deslizamientos 45

3.5. Tipos de falla 47

3.6. Factor de seguridad 48

3.6.1. Factores de seguridad por corte mínimos 49

3.7. Herramientas matemáticas para el análisis de estabilidad de taludes . 51

3.8. Métodos de análisis de estabilidad de taludes 52

3.9. Formas de localizar las superficies de falla 54

3.10. Métodos de conservación para taludes con técnicas de bioingeniería .. 55

4. CAPÍTULO IV: PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA 59

4.1. Precipitación..... 59

4.2. Formación de la precipitación 59

4.3. Tipos de hidrometeoros..... 60

4.4. Aparatos de medida..... 62

4.4.1. Pluviómetro 62

4.4.2. Pluviógrafo 62

4.4.3. Unidades de medida 63

4.5. Infiltración..... 63

4.6. Escorrentía o agua superficial 65

4.6.1. Tipos de escorrentía 65

4.6.2. Factores que condicionan la escorrentía 67

4.6.3. Cálculo de la escorrentía..... 67

5. CAPÍTULO V: EROSIÓN 70

5.1. Erosión..... 70

5.1.1. Proceso hidrogeoquímico de erosión 70

5.1.2. Erosionabilidad..... 71

5.2. Afección de la erosión en taludes..... 71

5.3. Factores que influyen en la erosión..... 74

5.4. Tipos de erosión hídrica 75

5.5. Medida y estimación de la erosión 80

5.5.1. Medición con instrumentos..... 80

5.5.2. Estimación de la erosión mediante modelos..... 83

5.5.3. Estimación de la erosión por síntomas 84

6. CAPÍTULO VI: REVESTIMIENTO DE TALUDES PARA ESTABILIDAD Y CONTROL DE EROSIÓN 85

6.1. Métodos para estabilizar taludes o laderas 85

6.2. Geosintéticos 88

6.3. Clasificación de geosintéticos 90

6.3.1. Geotextiles 90

6.3.2. Geomallas 92

6.3.3. Geomantos 94

6.4. Instalación de geomantos en taludes 98

6.4.1. Preparación del terreno 99

6.4.2. Siembra de cobertura vegetal 100

6.4.3. Cubrir la superficie con el manto 100

6.4.4. Corte del manto y relleno de las trincheras 102

6.4.5. Colocación de grapas intermedias 103

6.4.6. Riego permanente 105

6.4.7. Esquema general de instalación 106

7. CAPÍTULO VII: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN 107

7.1. Metodología de pre-investigación 107

7.1.1. Generalidades 107

7.1.2. Pre investigación 107

7.1.3. El enfoque cuantitativo 107

7.1.4. Enfoque de la investigación 108

7.1.4.1. Identificación y operacionalización de variables 109

7.1.5. Población 110

7.1.6. Muestra y muestreo 111

7.1.7. Técnicas de recolección de datos 111

7.1.8. Instrumentos de recolección de datos 113

7.1.9. Técnicas de procesamientos de datos..... 114

7.1.10. Herramientas para el procesamiento de datos 115

7.2. Metodología aplicada al sistema en estudio..... 115

7.2.1. Desarrollo de la metodología para simulaciones experimentales 115

7.2.1.1. Elección del material..... 115

7.2.1.2. Elección de compactación de suelo 115

7.3. Elección de la metodología para la compactación de los modelos..... 131

7.3.1. Método prueba y error..... 131

7.4. Simulador de condiciones atmosféricas 134

7.5. ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES 137

7.5.1. Medición de precipitaciones 137

8. CAPÍTULO VIII: ENSAYOS EN LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES 140

8.1. Tracción y elongación a la rotura de geomantos según la norma ASTM D6818 140

8.1.1. Ensayo de en geomanto de fibra de coco GMAT-VT400..... 142

8.1.2. Ensayo de en geomanto de fibra sintética GMAT-DS310 150

8.2. Método de prueba estándar para la medición de la masa por unidad de área de las mantas de control de la erosión (ASTM D6475-17, 2017) 158

8.2.1. Ensayo de en geomanto de fibra de coco GMAT-VT400..... 158

9. CAPÍTULO IX: ENSAYOS EN LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS 160

9.1. Clasificación Manual Visual (ASTM D2488-17)..... 160

9.2. Peso Unitario 161

9.3. Gravedad Específica..... 161

9.4. Contenido de Humedad..... 162

9.5. Granulometría..... 163

9.6. Compactación Modificada del Suelo..... 164

9.7. Ensayo de Corte Directo (ASTM D3080 / D3080M-11, 2011) 165

9.7.1. Corte Directo consolidado drenado CD 166

10. CAPÍTULO X: ENSAYOS DE PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA..... 167

10.1. Simulador de lluvia..... 167

10.2. Tipos de simuladores de precipitación..... 167

10.2.1. Simuladores goteadores 167

10.2.2. Simuladores pulverizadores 167

10.3. Características de un simulador de precipitación 168

10.4. Ventajas y desventajas de los simuladores..... 170

10.5. Descripción del equipo para la Simulación de lluvia..... 170

10.5.1. Estructura del simulador..... 170

10.6. Climatología del área de trabajo..... 175

10.7. Descripción y características del los taludes 175

10.7.1. Características geométricas de los taludes:..... 175

10.7.2. Taludes con Instalación de los geomantos..... 177

10.8. Calibración del Simulador de lluvia 178

10.9. Instalación del Simulador en el área de prueba..... 181

10.10. Recolección de datos..... 183

10.11. Resultados obtenidos..... 184

10.11.1. Resultados de Infiltración..... 184

10.11.2. Resultados de Escorrentía 186

10.11.3. Resultados de Erosión..... 187

10.11.4. Ensayos de Corte Directo (CD) después del ensayo de precipitación..... 191

10.12. Resultados obtenidos en el programa OPTUM G-2..... 193

11. CAPÍTULO XI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 200

11.1. Conclusiones 200

11.2. Recomendaciones 208

12. CAPÍTULO XII: BIBLIOGRAFÍA 210

13. CAPÍTULO XIII: ANEXOS 218

13.1. Productos comercializados por IGM - Industrias Geoambientales Montecristi S.A. PIVALTEC 218

13.2. Resultados Corte Directo (CD) Laboratorio de Suelos PUCE 221

13.3. Registro diario de riego del simulador de lluvia 225

13.3.1. Talud 15° 225

13.3.2. Talud 30° 236

13.3.3. Talud 45° 248

13.4. Gráficas de Infiltración 260

13.4.1. Talud de 15° 260

13.4.2. Talud promedio 15° 263

13.4.3. Talud de 30° 263

13.4.4. Talud promedio 30° 266

13.4.5. Talud de 45° 267

13.4.6. Talud promedio 45° 270

13.5. Gráficas de Escorrentía 270

13.5.1. Talud de 15° 270

13.5.2. Talud promedio 15° 273

13.5.3. Talud de 30° 273

13.5.4. Talud promedio 30° 276

13.5.5. Talud de 45° 277

13.5.6. Talud promedio 45° 279

13.6. Gráficas de Erosión 280

13.6.1. Talud de 15° 280

13.6.2. Talud promedio 15° 283

13.6.3. Talud de 30° 283

13.6.4. Talud promedio 30° 286

13.6.5. Talud de 45° 287

13.6.6. Talud promedio 45° 290

13.7. Resultados del programa OPTUM G-2 291

13.7.1. Talud de 15° 292

13.7.2. Talud de 30° 310

13.7.3. Talud 45° 328

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Forma de las partículas voluminosas. (Cortesía de Braja M. Das, Henderson, Nevada)..... 9
Figura 2. Distribución esquemática de las tres fases del suelo..... 11
Figura 3. (a) Elemento de suelo en estado natural; (b) tres fases del elemento de suelo 12
Figura 4. Descripción cualitativa de depósitos granulares de suelo..... 14
Figura 5. Estados del suelo en función del contenido de humedad..... 17
Figura 6. Actividad de minerales arcillosos..... 19
Figura 7. Plasticity Chart..... 19
Figura 8. Hidrómetro sumergido..... 22
Figura 9. Cumulative Particle-Size Plot..... 23
Figura 10. Curva granulométrica. Definición de $D10$, $D30$ y $D60$..... 23
Figura 11. Well-graded soil..... 24
Figura 12. Uniformly graded soil..... 24
Figura 13. Gap-graded soil..... 24
Figura 14. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)..... 25
Figura 15. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)..... 25
Figura 16. Flow chart for classifying Fine-Grained Soil (50% or more passes No.200 sieve)..... 27
Figura 17. Flow chart for classifying Organic Fine-Grained Soil (50% or more passes No.200 sieve)..... 28
Figura 18. Flow chart for classifying Coarse-Grained Soil (50% retained on No.200 sieve)..... 29
Figura 19. Envolvente de falla de Mohr y criterio de rotura de Mohr-Coulomb..... 31
Figura 20. (a) Consideración del esfuerzo efectivo para una columna de suelo saturado y sin filtraciones..... 32
Figura 21. (b) las fuerzas que actúan en los puntos de contacto de las partículas del suelo a nivel del punto A Fuente: (Braja M, 2015, pág. 156)..... 32
Figura 22. Cohesión debida a fuerzas capilares (Bilz, 1995)..... 34
Figura 23. Ángulos de fricción y cohesión de materiales no cohesivos Adaptado de Hough, 1996 y Lambe y Whitman, 1996..... 34
Figura 24. Relación entre la densidad relativa y el ángulo de fricción en suelos sin cohesión..... 35

Figura 255. Valores referenciales de φ (Magnan, 1991) 35
Figura 26. Presión de poros sobre una superficie de falla potencial. 35
Figura 27. Tamaño de poros y permeabilidad (Lee, 1996) 37
Figura 28. Detalle de la caja para ensayo de Corte Directo. 37
Figura 29. Esquema del ensayo del corte (a) sencillo y (b) del corte doble 38
Figura 30. Círculo de Mohr y envolvente de falla de un ensayo Triaxial. 38
Figura 31. Esfuerzo de falla y envolvente de un ensayo de corte directo. 38
Figura 32. Nomenclatura de taludes y laderas 41
Figura 33. Fallos por traslación sobre un plano débil 45
Figura 34. Tipos de fallas por rotación en taludes 46
Figura 35. Fallo por rotura plana en taludes 46
Figura 36. Fallo por rotura por deslizamiento superficial en talud 46
Figura 37. Factores de seguridad por corte mínimo 50
Figura 38. Recomendaciones para factores de seguridad 50
Figura 39. Recomendaciones para factores de seguridad 50
Figura 40. Equilibrio Límite. 51
Figura 41. Equilibrio Límite. 51
Figura 42. Análisis convencionales en el diseño de taludes 52
Figura 43. Esquemas de determinación de las superficies de falla 54
Figura 44. Ensayos de penetración estándar 55
Figura 45. Ensayos de penetración estándar 55
Figura 46. Efectos de la vegetación sobre la estabilidad de una ladera. 56
Figura 47. Componentes de la planta y sus funciones 56
Figura 48. Refuerzo de superficie de falla por las raíces de los árboles 56
Figura 49. Diagrama simplificado del ciclo hidrológico 60
Figura 50. Resultados típicos de un ensayo de infiltración (Geotechnical Control Office 64
Figura 51. Ciclo de Escorrentía. 1ª fase. 66
Figura 52. Ciclo de Escorrentía. 3ª fase. Fuente: (Juncosa, 2005, pág. 68) 66
Figura 53. Ciclo de Escorrentía. 2ª fase. 66
Figura 54. Esquema del Ciclo de Escorrentía.4ª fase. 67
Figura 55. Tabla de Prevert (1986). 69
Figura 56. Factores para la fórmula de Nadal (1986). 69

Figura 57. En suelos mixtos existen fuerzas de repulsión entre las partículas de arcilla y de arena. 70
Figura 58. La presión de poros trata de separar las partículas y de esta forma, se disminuye la resistencia a la fricción 72
Figura 59. Esfuerzos totales y efectivos 72
Figura 60. Principales zonas erosionadas en el Ecuador según su grado de intensidad. 73
Figura 61. Caída de la gota 76
Figura 62. Golpe 76
Figura 63. Desprendimiento 76
Figura 64. Esparcimiento 76
Figura 65. Distribución de las gotas en una lluvia 77
Figura 66. Proceso de erosión laminar 77
Figura 67. Esquema de la formación de surcos de la erosión 78
Figura 68. Elementos que intervienen en la formación de surcos 79
Figura 69. Esquema general de cárcava de erosión 80
Figura 70. Esquema de las varillas en el suelo, representando los procesos de erosión y sedimentación 80
Figura 71. Regueros en una de las parcelas. 82
Figura 72. Ejemplo de esquema de protección de la superficie superior de un relleno sanitario utilizando geosintéticos 88
Figura 73. Separación 89
Figura 74. Separación 89
Figura 75. Separación 89
Figura 76. Separación 90
Figura 77. Separación 90
Figura 78. Separación 90
Figura 79. Geotextil no tejido de poliester 91
Figura 80. Geotextiles No tejidos 92
Figura 81. Geotextil tejido 92
Figura 82. Geotextiles tejidos 92
Figura 83. Ejemplos típicos de geomallas para refuerzo (Tensar Earth technologies, 1994) 93
Figura 84. Geomalla Biaxial 93

Figura 85. Ejemplos típicos de geomallas para refuerzo (Tensar Earth technologies, 1994) 94
Figura 86. Geomallas Biaxiales 94
Figura 87. Geomanta de fibra de coco, estabilización de taludes 96
Figura 88. Biomanto de fique para facilitar el establecimiento de la vegetación. 96
Figura 89. Ilustración esquemática del establecimiento de vegetación utilizando una esterilla tridimensional TRM. 97
Figura 90. Geomanta tridimensional control de erosión 97
Figura 91. Mantos permanentes para el control de erosión 98
Figura 92. Geomembrana de PVC 98
Figura 93. Preparación del terreno 100
Figura 94. Aplicación de cobertura vegetal 100
Figura 95. Extensión del manto 101
Figura 96. Instalación de mantos para control de erosión en taludes (Tensar Earth Technologies). 101
Figura 97. Anclaje 102
Figura 98. Anclaje del borde de los mantos 102
Figura 99. Corte del manto 102
Figura 100. Llenado de trincheras 103
Figura 101. Traslapos y juntas 103
Figura 102. Separación de ganchos de anclaje en la instalación de mantos para control de erosión en taludes 104
Figura 103. Separación de ganchos de anclaje en la instalación de mantos para control de erosión en taludes 104
Figura 104. Detalle del procedimiento de instalación de telas y esterillas para control de erosión. (McCullah, 1996) 104
Figura 105. Aseguramiento del manto 105
Figura 106. Riego y mantenimiento 105
Figura 107. Esquema general de instalación del manto para control de erosión 106
Figura 108. Esquema de la instalación de un manto orgánico o sintético para el control de erosión en un talud 106
Figura 109. Ficha de registro para cada talud. 113
Figura 110. Construcción de la estructura. 122
Figura 111. Procedimientos de trabajo. 131

Figura 112. Datos de precipitaciones mensuales de los últimos 10 años Estación LA TOLA M0002. 135
Figura 113. Datos de precipitaciones mensuales de los últimos 10 años Estación LA TOLA M0002. 135
Figura 114. Datos de precipitaciones mensuales de los últimos 10 años. Estación NAYÓN PUCE. M1156. 135
Figura 115. Datos de precipitaciones mensuales de los últimos 10 años. Estación YARUQUI M0346. 136
Figura 116. Datos de precipitaciones diarias año 2012. 136
Figura 117. Área de ensayo 0,42 m x 0,42 m. 138
Figura 118. Esquema para toma de especímenes en sentido longitudinal 140
Figura 119. Esquema para toma de especímenes en sentido transversal 141
Figura 120.Simulador pulverizador de movimiento alternativo. CERDÁ. 168
Figura 121. Brazos giratorios que transportan lanzas. SWANSON. 168
Figura 122 .Relación velocidad-altura de caída. LAWS. 169
Figura 123. Relación velocidad de caída / diámetro de gota. EPEMA y RIEZEBOS. 169
Figura 124. Velocidad de caída de las gotas de lluvia según el tamaño y altura. EPEMA y RIEZEBOS. 170
Figura 125. Estructura del simulador. 171
Figura 126. Clima de Quito Ecuador – Características, tipo de clima y temperaturas promedio 175
Figura 127. Geometría talud 15°. 175
Figura 128. Geometría talud 30°. 176
Figura 129. Geometría talud 45°. 177
Figura 130. Esquema de llenado del simulador. 179
Figura 131. Registro de datos. 184
Figura 132. Geometría talud 15°. 194
Figura 133. Dimensiones del talud de 15° puesto a prueba. ..... **Error! Bookmark not defined.**
Figura 134 Geometría talud 30°. 196
Figura 135. Dimensiones del talud de 15° puesto a prueba ..... **Error! Bookmark not defined.**
Figura 136. Geometría talud 45°. 198

Figura 137. Dimensiones del talud de 15° puesto a prueba. ..... **Error! Bookmark not defined.**

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Fuerza deformación – muestra 1 longitudinal 143
Gráfico 2. Fuerza deformación – muestra 2 longitudinal 143
Gráfico 3. Fuerza deformación – muestra 3 longitudinal 144
Gráfico 4. Fuerza deformación – muestra 4 longitudinal 144
Gráfico 5. Fuerza deformación – muestra 5 longitudinal 145
Gráfico 6. Fuerza deformación – muestra 1 transversal 146
Gráfico 7. Fuerza deformación – muestra 2 transversal 147
Gráfico 8. Fuerza deformación – muestra 3 transversal 147
Gráfico 9. Fuerza deformación – muestra 4 transversal 148
Gráfico 10. Fuerza deformación – muestra 5 transversal 148
Gráfico 11. Fuerza deformación – muestra longitudinal 1 151
Gráfico 12. Fuerza deformación – muestra longitudinal 2 151
Gráfico 13. Fuerza deformación – muestra longitudinal 3 152
Gráfico 14. Fuerza deformación – muestra longitudinal 4 152
Gráfico 15. Fuerza deformación – muestra longitudinal 5 153
Gráfico 16. Fuerza deformación – transversal 1 154
Gráfico 17. Fuerza deformación – transversal 2 155
Gráfico 18. Fuerza deformación – transversal 3 155
Gráfico 19. Fuerza deformación – transversal 4 156
Gráfico 20. Fuerza deformación – transversal 5 156
Gráfico 21.Curva granulométrica 164
Gráfico 22.Curva de Compactación 165
Gráfico 23. Corte directo (CD) antes de ser ensayado los taludes. Esfuerzo cortante vs. Esfuerzo normal. 166
Gráfico 24.Superposición de curvas de infiltración promedio de talud 15° 185
Gráfico 25. Superposición de curvas de infiltración promedio de talud 30° 185
Gráfico 26. Superposición de curvas de infiltración promedio de talud 45° 185
Gráfico 27. Superposición de curvas de escorrentía promedio de talud 15° 186
Gráfico 28. Superposición de curvas de escorrentía promedio de talud 30° 187
Gráfico 29. Superposición de curvas de escorrentía promedio de talud 45° 187
Gráfico 30. Superposición de curvas promedio de erosión del talud 15° 188
Gráfico 31. Superposición de curvas promedio de erosión del talud 30° 188

Gráfico 32. Superposición de curvas promedio de erosión del talud 45° 189
Gráfico 33. Corte Directo 15°. 192
Gráfico 34. Corte Directo 30°. 192
Gráfico 35. Corte Directo 45°. 193
Gráfico 36.Resultados de erosión en taludes..... 202
Gráfico 37. Resultados de escorrentía en taludes sin recubrimiento..... 202
Gráfico 38. Resultados de escorrentía en taludes recubierto..... 204
Gráfico 39. Resultados de infiltración en taludes sin recubrimiento..... 206

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Origen del suelo 7
Tabla 2. Clasificación de las partículas de suelo según su tamaño 9
Tabla 3. Serie de Tamices 20
Tabla 4. Coeficientes de uniformidad y curvatura en suelos bien graduados 24
Tabla 5. Standard Classification of Soils for Engineering Purposes 25
Tabla 6. Standard Classification of Soils for Engineering Purposes 25
Tabla 7. Clasificación de los deslizamientos de acuerdo al tipo de movimiento 45
Tabla 8. Clasificación de los deslizamientos de acuerdo a las condiciones de deformación 46
Tabla 9. Clasificación de los deslizamientos de acuerdo a las condiciones de presión de poros 47
Tabla 10. Tipos de falla de taludes 47
Tabla 11. Métodos de análisis de estabilidad de taludes 52
Tabla 12. Métodos de análisis de estabilidad de taludes 53
Tabla 13. Listado de tablas para cálculo de estabilidad de taludes disponibles en la literatura 54
Tabla 14. Mantas orgánicas 58
Tabla 15. Tipos de hidrometeoros 60
Tabla 16. Factores que condicionan la escorrentía 67
Tabla 17, Las causas de la erosión en el Ecuador 74
Tabla 18. Las causas de la erosión en el Aspectos ambientales de la erosión 74
Tabla 19. Las causas de la erosión en el Aspectos ambientales de la erosión 74
Tabla 20. Las causas de la erosión en el Aspectos ambientales de la erosión 75
Tabla 21. Indicadores de estimación de la erosión, adaptados de Morgan (1997) 84
Tabla 22. Métodos de conformación topográfica para equilibrar fuerzas 85
Tabla 23. Métodos de recubrimiento de la superficie del talud 86
Tabla 24. Métodos de control de agua y presión de poros. 86
Tabla 25. Métodos de estructuras de contención. 87
Tabla 26. Métodos para mejorar la resistencia del suelo. 88
Tabla 27. Campos de aplicación de los geotextiles 91
Tabla 28. Ensayos disponibles en el laboratorio de materiales de construcción PUCE. 99

Tabla 29. Ensayos para geo sintéticos en el “Precision Geosynthetic Laboratories International¨. 99
Tabla 30. Frecuencia de anclajes para taludes..... 104
Tabla 31. Definición y operacionalización de variables..... 109
Tabla 32. Distribución de grupos a ensayar. 132
Tabla 33. Fuerza de rotura por unidad de ancho 145
Tabla 34. Elongación..... 146
Tabla 35. Fuerza de rotura por unidad de ancho 149
Tabla 36. Elongación..... 149
Tabla 37. Fuerza de rotura por unidad de ancho 153
Tabla 38. Elongación..... 154
Tabla 39. Fuerza de rotura por unidad de ancho 157
Tabla 40. Elongación..... 157
Tabla 41. Clasificación Manual Visual 160
Tabla 42. Peso Unitario 161
Tabla 43. Gravedad Específica..... 162
Tabla 44. Granulometría..... 164
Tabla 45. Compactación Modificada del Suelo..... 165
Tabla 46. Angulo de resistencia al corte y cohesión del suelo. 166
Tabla 47. Ventajas y desventajas del uso de simuladores. 170
Tabla 48. Registro de datos. 184
Tabla 49. Registro de datos. 184
Tabla 50. Registro de datos. 186
Tabla 51. Registro de datos. 188
Tabla 52. Análisis de factor de reducción en talud inicial de 15°. 194
Tabla 53. Resultados Optum G -2 15°..... 195
Tabla 54 Análisis de factor de reducción en talud inicial de 15°. 195
Tabla 55. Análisis de factor de reducción en talud inicial de 15°. 196
Tabla 56. .Resultados Optum -2 30° 197
Tabla 57. Análisis de factor de reducción en talud inicial de 30°. 197
Tabla 58. Análisis de factor de reducción en talud inicial de 15°. 198
Tabla 59. Resultados Optum -2 45° 199
Tabla 60. Análisis de factor de reducción en talud inicial de 45°. 199
Tabla 61. Resultados de erosión en taludes sin recubrimiento..... 200

Tabla 62. Resultados de erosión en taludes sin recubrimiento..... 201
Tabla 63. Resultados de erosión en taludes sin recubrimiento..... 201
Tabla 64. Resultados de escorrentía en taludes recubierto con fibra sintética 203
Tabla 65. Resultados de escorrentía en taludes recubierto con geomanto de fibra de coco 204
Tabla 66. Resultados de infiltración en taludes sin recubrimiento..... 205
Tabla 67. Resultados de infiltración en taludes recubierto con fibra sintética 205
Tabla 68. Resultados de erosión en taludes recubierto con geomanto de fibra de coco206
Tabla 69. .Resultados de Ensayo Corte Directo (CD) de la muestra antes de ser ensayada..... 207
Tabla 70. Resultados de Ensayo Corte Directo (CD) de las muestras después de ser ensayadas 207
Tabla 71. Comparación Factores de reducción OPTUM G-2 del talud sin recubrimiento de 15°..... 207
Tabla 72. Comparación Factores de reducción OPTUM G-2 del talud sin recubrimiento de 30°..... 208
Tabla 73. Comparación Factores de reducción OPTUM G-2 del talud sin recubrimiento de 45°..... 208

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Copa de Casagrande 18
Fotografía 2. Ranulador ASTM y AASHTO-espátula-pipeta-capsulas-tamiz 40-vidrio normado 18
Fotografía 3. Tamices (N° 4, 10, 40, 200) 21
Fotografía 4: Hidrómetro 22
Fotografía 5. Pluviómetro (2006). Carrión de los Céspedes, España. 62
Fotografía 6. Pluviógrafo de flotador 62
Fotografía 7. Pluviógrafo de cubeta basculante. Detalle del pivote que soporta el mecanismo y el circuito eléctrico (2005) 63
Fotografía 8. Paisaje de cárcavas de zonas semiáridas. Fotografía tomada por Roberto Pizarro. 79
Fotografía 9. Parcelas experimentales 81
Fotografía 10. Óxido de hierro magnético. 82
Fotografía 11. Regueros en una de las parcelas. 82
Fotografía 12. Muestras conformantes del grupo A con inclinación 45 grados. 112
Fotografía 13. Muestras conformantes del grupo B con inclinación 30 grados. 112
Fotografía 14. Muestras conformantes del grupo C con inclinación 15 grados. 113
Fotografía 15. Ficha recolección de datos para humedad. 114
Fotografía 16. Preparación del material para producir condiciones óptimas. 117
Fotografía 17. Preparación del material para producir condiciones óptimas. 117
Fotografía 18. Sistema de transmisión de carga a la muestra. 118
Fotografía 19. Inicio de compactación por capas. 118
Fotografía 20. Mediciones de capas una vez enrasadas. 119
Fotografía 21. Mediciones de capas una vez enrasadas. 119
Fotografía 22. Compactación por capas hasta altura 34.3 cm. 119
Fotografía 23. Ingreso de brazo mecánico a la prensa. 120
Fotografía 24. Muestra transportada a carro de carga para desmoldar. 120
Fotografía 25. Muestra transportada nuevamente a la prensa con filos a desnivel, para desmoldar. 121
Fotografía 26. Prensa ejerciendo presión para desmoldar. 121
Fotografía 27. Derrumbe de muestra al desmoldar. 122
Fotografía 28. Material para delimitación de terraplén. 123

Fotografía 29. Construcción de la estructura del terraplén. 123
Fotografía 30. Descarga de material para conformación de terraplén de prueba. 124
Fotografía 31. Secado de muestras con el fin de obtener la humedad natural del suelo. 124
Fotografía 32. Hidratación del suelo para llegar a su densidad máxima una vez compactado. 127
Fotografía 33. Compactación del suelo con maquinaria liviana en capas de 20cm. 127
Fotografía 34. Control de compactación en cada capa con Densímetro Nuclear. 127
Fotografía 35. Resultados de control de compactación con densímetro nuclear..... 127
Fotografía 36. Inicio de tallado de la muestra en su ángulo correspondiente 45º. 128
Fotografía 37. Inicio de tallado de la muestra en su ángulo correspondiente 45º control con nivel, plomada y enrasado de muestra. 128
Fotografía Fotografía 38 y 39. Recorte de geomantos. 128
Fotografía 40. Grapas de anclaje. 129
Fotografía 41. Se ancla el material geosintético en base a Guía de Uso e instalación de Mantos Permanentes para Control de Erosión y Refuerzo de Vegetación TRM. 129
Fotografía 42. Se ancla el material geosintético en base a Guía de Uso e instalación de Mantos Permanentes para Control de Erosión y Refuerzo de Vegetación TRM. 129
Fotografía 43. Grupo de muestra A 45º 130
Fotografía 44. Grupo de muestra B 30º. 130
Fotografía 45. Grupo de muestra C 15º. 130
Fotografía 46. Instalación del simulador de lluvia preparación de equipo. 130
Fotografía 47. Instalación del simulador de lluvia, ensayo iniciado. 131
Fotografía 48. Toma de muestras 142
Fotografía 49. Recorte de las muestras 142
Fotografía 50. Ensayo de tracción y elongación 142
Fotografía 51. Toma de muestras 150
Fotografía 52. Recorte de muestras 150
Fotografía 53.. Revisión de muestra 150
Fotografía 54. Ensayo de tracción y elongación 150
Fotografía 55Geomanto de fibra de coco 158
Fotografía 56. Geomanto de fibra sintética 159
Fotografía 57 y Fotografía 58. Ensayo de gravedad específica 162
Fotografía 59Secado de muestras con el fin de obtener la humedad natural del suelo. 162

Fotografía 60.Operación del simulador: llenado, revisión y puesta en marcha de la simulación..... 167
Fotografía 61. Simulado 171
Fotografía 62. Soporte metálico. 172
Fotografía 63. Probeta1000ml. 173
Fotografía 64. Embudo. 173
Fotografía 65. Recolección de agua en el simulador. 173
Fotografía 66. Simulador de lluvia. 174
Fotografía 67. Tamiz #200. 174
Fotografía 68 y 69. Recipiente y fundas para recolección de sedimentos. 174
Fotografía 70. Talud 15° sin recubrimiento. 176
Fotografía 71. Talud 30° sin recubrimiento. 176
Fotografía 72. Talud 45° sin recubrimiento. 177
Fotografía 73. Talud 15° con recubrimiento. 177
Fotografía 74. Talud 30° con recubrimiento. 178
Fotografía 75. Talud 45° con recubrimiento. 178
Fotografía 76. Calibración. 179
Fotografía 77. Calibración. 180
Fotografía 78 y 79 . Calibración. 181
Fotografía 80. Instalación del simulador en el área de prueba. 182
Fotografía 81. Recolección de sedimentos. 182
Fotografía 82. Recolección de datos de infiltración y escorrentía. 183
Fotografía 83 y 84. Recolección de datos de erosión. 183
Fotografía 85. Talud de 15° después de ser regado por 12 días y antes de sacar el recubrimiento. 189
Fotografía 86. Talud de 15° sin recubrimiento después de 12 días de riego 189
Fotografía 87. Talud de 30° después de ser regado por 12 días y antes de sacar el recubrimiento. 190
Fotografía 88. Talud de 30° sin recubrimiento después de 12 días de riego. 190
Fotografía 89. Talud de 45° después de ser regado por 12 días y antes de sacar el recubrimiento, ... 190
Fotografía 90. Talud de 45° sin recubrimiento después de 12 días de riego. 191
Fotografía 91. Toma de muestras para ensayo de Corte Directo 191
Fotografía 92. Cortes del Talud de 15° sin recubrimiento después de 12 días de riego194

Fotografía 93. Cortes del Talud de 30° sin recubrimiento después de 12 días de riego. 196
Fotografía 94. Cortes del Talud de 45° sin recubrimiento después de 12 días de riego. 198

ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1. Pasante tamiz 200 25
Esquema 2. Pasante tamiz #4 26
Esquema 3. Clasificación de taludes 40
Esquema 4. Geomantos de Pivaltec..... 95
Esquema 5. Relación de grupos para posterior evaluación. 112

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Geomanto para el control de erosión GMAT VT400 (PIVALTEC) 218
Anexo 2. Geomanto para el control de erosión GMAT RV400 (PIVALTEC)..... 218
Anexo 3. Geomanto para la estabilización de taludes y control de erosión VG80-2 (PIVALTEC) 219
Anexo 4. Geomanto para control de erosión GMAT DS310 (PIVALTEC) 219
Anexo 5. Geomanto para control de erosión GMAT R560 (PIVALTEC)..... 220
Anexo 6. Geomanto para la estabilización de taludes y control de erosión G80-2 (PIVALTEC) 220
Anexo 7. Corte Directo de Arena Limosa 221
Anexo 8. Corte Directo Talud 15°..... 222
Anexo 9. Corte Directo Talud 30°..... 223
Anexo 10. Corte Directo Talud 45°..... 224
Anexo 11. Registro de riego Talud 15° 225
Anexo 12. Registro de riego Talud 15° 226
Anexo 13. Registro de riego Talud 15° 227
Anexo 14. Registro de riego Talud 15° 228
Anexo 15. Registro de riego Talud 15° 229
Anexo 16. Registro de riego Talud 15° 230
Anexo 17. Registro de riego Talud 15° 231
Anexo 18. Registro de riego Talud 15° 232
Anexo 19. Registro de riego Talud 15° 233
Anexo 20. Registro de riego Talud 15° 234
Anexo 21. Registro de riego Talud 15° 235
Anexo 22. Registro de riego Talud 30° 236
Anexo 23. Registro de riego Talud 30° 237
Anexo 24. Registro de riego Talud 30° 238
Anexo 25. Registro de riego Talud 30° 239
Anexo 26. Registro de riego Talud 30° 240
Anexo 27. Registro de riego Talud 30° 241
Anexo 28. Registro de riego Talud 30° 242
Anexo 29. Registro de riego Talud 30° 243
Anexo 30. Registro de riego Talud 30° 244

Anexo 31. Registro de riego Talud 30° 245
Anexo 32. Registro de riego Talud 30° 246
Anexo 33. Registro de riego Talud 30° 247
Anexo 34. Registro de riego Talud 45° 248
Anexo 35. Registro de riego Talud 45° 249
Anexo 36. Registro de riego Talud 45° 250
Anexo 37. Registro de riego Talud 45° 251
Anexo 38. Registro de riego Talud 45° 252
Anexo 39. Registro de riego Talud 45° 253
Anexo 40. Registro de riego Talud 45° 254
Anexo 41. Registro de riego Talud 45° 255
Anexo 42. Registro de riego Talud 45° 256
Anexo 43. Registro de riego Talud 45° 257
Anexo 44. Registro de riego Talud 45° 258
Anexo 45. Registro de riego Talud 45° 259
Anexo 46. Infiltración Talud 15°..... 260
Anexo 47. Infiltración Talud 15°..... 260
Anexo 48. Infiltración Talud 15°..... 260
Anexo 49. Infiltración Talud 15°..... 261
Anexo 50. Infiltración Talud 15°..... 261
Anexo 51. Infiltración Talud 15°..... 261
Anexo 52. Infiltración Talud 15°..... 262
Anexo 53. Infiltración Talud 15°..... 262
Anexo 54. Infiltración Talud 15°..... 262
Anexo 55. Infiltración Talud 15°..... 263
Anexo 56. Infiltración Talud 30°..... 263
Anexo 57. Infiltración Talud 30°..... 264
Anexo 58. Infiltración Talud 30°..... 264
Anexo 59. Infiltración Talud 30°..... 264
Anexo 60. Infiltración Talud 30°..... 265
Anexo 61. Infiltración Talud 30°..... 265
Anexo 62. Infiltración Talud 30°..... 265
Anexo 63. Infiltración Talud 30°..... 266
Anexo 64. Infiltración Talud 30°..... 266

Anexo 65. Infiltración Talud 30° 266
Anexo 66. Infiltración Talud 45° 267
Anexo 67. Infiltración Talud 45° 267
Anexo 68. Infiltración Talud 45° 267
Anexo 69. Infiltración Talud 45° 268
Anexo 70. Infiltración Talud 45° 268
Anexo 71. Infiltración Talud 45° 268
Anexo 72. Infiltración Talud 45° 269
Anexo 73. Infiltración Talud 45° 269
Anexo 74. Infiltración Talud 45° 269
Anexo 75. Infiltración Talud 45° 270
Anexo 76. Escorrentía Talud 15° 270
Anexo 77. Escorrentía Talud 15° 270
Anexo 78. Escorrentía Talud 15° 271
Anexo 79. Escorrentía Talud 15° 271
Anexo 80. Escorrentía Talud 15° 272
Anexo 81. Escorrentía Talud 15° 272
Anexo 82. Escorrentía Talud 15° 272
Anexo 83. Escorrentía Talud 15° 272
Anexo 84. Escorrentía Talud 15° 273
Anexo 85. Escorrentía Talud 30° 273
Anexo 86. Escorrentía Talud 30° 274
Anexo 87. Escorrentía Talud 30° 274
Anexo 88. Escorrentía Talud 30° 274
Anexo 89. Escorrentía Talud 30° 275
Anexo 90. Escorrentía Talud 30° 275
Anexo 91. Escorrentía Talud 30° 275
Anexo 92. Escorrentía Talud 30° 276
Anexo 93. Escorrentía Talud 30° 276
Anexo 94. Escorrentía Talud 30° 277
Anexo 95. Escorrentía Talud 45° 277
Anexo 96. Escorrentía Talud 45° 277
Anexo 97. Escorrentía Talud 45° 277
Anexo 98. Escorrentía Talud 45° 278

Anexo 99. Escorrentía Talud 45° 278
Anexo 100. Escorrentía Talud 45° 278
Anexo 101. Escorrentía Talud 45° 279
Anexo 102. Escorrentía Talud 45° 279
Anexo 103. Escorrentía Talud 45° 279
Anexo 104. Escorrentía Talud 45° 280
Anexo 105. Erosión Talud 15° 280
Anexo 106. Erosión Talud 15° 280
Anexo 107. Erosión Talud 15° 281
Anexo 108. Erosión Talud 15° 281
Anexo 109. Erosión Talud 15° 281
Anexo 110. Erosión Talud 15° 282
Anexo 111. Erosión Talud 15° 282
Anexo 112. Erosión Talud 15° 282
Anexo 113. Erosión Talud 15° 283
Anexo 114. Erosión Talud 15° 283
Anexo 115. Erosión Talud 30° 283
Anexo 116. Erosión Talud 30° 284
Anexo 117. Erosión Talud 30° 284
Anexo 118. Erosión Talud 30° 284
Anexo 119. Erosión Talud 30° 285
Anexo 120. Erosión Talud 30° 285
Anexo 121. Erosión Talud 30° 285
Anexo 122. Erosión Talud 30° 286
Anexo 123. Erosión Talud 30° 286
Anexo 124. Erosión Talud 30° 286
Anexo 125. Erosión Talud 45° 287
Anexo 126. Erosión Talud 45° 287
Anexo 127. Erosión Talud 45° 288
Anexo 128. Erosión Talud 45° 288
Anexo 129. Erosión Talud 45° 289
Anexo 130. Erosión Talud 45° 289
Anexo 131. Erosión Talud 45° 289
Anexo 132. Erosión Talud 45° 290

Anexo 133. Erosión Talud 45° 290
Anexo 134. Perfiles en base a la topografía realizada en cada muestra en extensión DXF. 291
Anexo 135. Perfiles en base a la topografía realizada en cada muestra en extensión DXF. 291
Anexo 136. Perfiles en base a la topografía realizada en cada muestra en extensión DXF. 291
Anexo 137. Corte 1 de 15° coco muestra 1 análisis lower 292
Anexo 138. Corte 1 de 15° coco muestra 1 análisis upper 292
Anexo 139. Corte 1 de 15° coco muestra 2 análisis lower 292
Anexo 140. Corte 1 de 15° coco muestra 2 análisis upper 293
Anexo 141. Corte 1 de 15° muestra desnuda 1 análisis lower 294
Anexo 142. Corte 1 de 15° muestra desnuda 1 análisis upper 294
Anexo 143. Corte 1 de 15° muestra desnuda 2 análisis lower 295
Anexo 144. Corte 1 de 15° muestra desnuda 2 análisis upper 295
Anexo 145. Corte 1 de 15° muestra 1 sintético análisis lower 296
Anexo 146. Corte 1 de 15° muestra 1 sintético análisis upper 296
Anexo 147. Corte 1 de 15° muestra 2 sintéticos análisis lower 297
Anexo 148. Corte 1 de 15° muestra 2 sintético análisis upper 297
Anexo 149. Corte 2 de 15° muestra 1 sintético análisis lower 298
Anexo 150. Corte 2 de 15° muestra 1 sintético análisis upper 298
Anexo 151. Corte 2 de 15° muestra 2 fibra de coco análisis lower 299
Anexo 152. Corte 2 de 15° muestra 2 fibra de coco análisis upper 299
Anexo 153. Corte 2 de 15° muestra 1 desnudo análisis lower 300
Anexo 154. Corte 2 de 15° muestra 1 desnudo análisis upper 300
Anexo 155. Corte 2 de 15° muestra 2 desnudo análisis lower 301
Anexo 156. Corte 2 de 15° muestra 2 desnudo análisis upper 301
Anexo 157. Corte 2 de 15° muestra 1 sintético análisis lower 302
Anexo 158. Corte 2 de 15° muestra 1 sintético análisis upper 302
Anexo 159. Corte 2 de 15° muestra 2 sintético análisis lower 303
Anexo 160. Corte 2 de 15° muestra 2 sintético análisis upper 303
Anexo 161. Corte 3 15° muestra 1 fibra de coco análisis lower 304
Anexo 162. Corte 3 15° muestra 1 fibra de coco análisis upper 304
Anexo 163. Corte 3 15° muestra 2 fibra de coco análisis lower 305

Anexo 164. Corte 3 15° muestra 2 fibra de coco análisis upper 305
Anexo 165. Corte 3 15° muestra 1 desnudo análisis lower 306
Anexo 166. Corte 3 15° muestra 1 desnudo análisis upper 306
Anexo 167. Corte 3 15° muestra 2 desnudo análisis lower 307
Anexo 168. Corte 3 15° muestra 2 desnudo análisis upper 307
Anexo 169. Corte 3 15° muestra 1 sintético análisis lower 308
Anexo 170. Corte 3 15° muestra 1 sintético análisis upper 308
Anexo 171. Corte 3 15° muestra 2 sintético análisis lower 309
Anexo 172. Corte 3 15° muestra 2 sintético análisis upper 309
Anexo 173. Corte 1 30° muestra 1 fibra de coco análisis lower 310
Anexo 174. Corte 1 30° muestra 1 fibra de coco análisis upper 310
Anexo 175. Corte 1 30° muestra 2 fibra de coco análisis lower 311
Anexo 176. Corte 1 30° muestra 2 fibra de coco análisis upper 311
Anexo 177. Corte 1 30° muestra 1 desnudo análisis lower 312
Anexo 178. Corte 1 30° muestra 1 desnudo análisis upper 312
Anexo 179. Corte 1 30° muestra 2 desnudo análisis lower 313
Anexo 180. Corte 1 30° muestra 2 desnudo análisis upper 313
Anexo 181. Corte 1 30° muestra 1 sintético análisis lower 314
Anexo 182. Corte 1 30° muestra 1 sintético análisis upper 314
Anexo 183. Corte 1 30° muestra 2 sintético análisis lower 315
Anexo 184. Corte 1 30° muestra 2 sintético análisis upper 315
Anexo 185. Corte 2 30° muestra 1 fibra de coco análisis lower 316
Anexo 186. Corte 2 30° muestra 1 fibra de coco análisis upper 316
Anexo 187. Corte 2 30° muestra 2 fibra de coco análisis lower 317
Anexo 188. Corte 2 30° muestra 2 fibra de coco análisis upper 317
Anexo 189. Corte 2 30° muestra 1 desnudo análisis lower 318
Anexo 190. Corte 2 30 grados muestra 1 desnudo análisis upper 318
Anexo 191. Corte 2 30° muestra 2 desnudo análisis lower 319
Anexo 192. Corte 2 30° muestra 2 desnudo análisis upper 319
Anexo 193. Corte 2 30° muestra 1 sintético análisis lower 320
Anexo 194. Corte 2 30° muestra 1 sintético análisis upper 320
Anexo 195. Corte 2 30° muestra 2 sintético análisis lower 321
Anexo 196. Corte 2 30° muestra 2 sintético análisis upper 321
Anexo 197. Corte 3 30° muestra 1 fibra de coco análisis lower 322

Anexo 198. Corte 3 30° muestra 1 fibra de coco análisis upper 322
Anexo 199. Corte 3 30° muestra 2 fibra de coco análisis lower 323
Anexo 200. Corte 3 30° muestra 2 fibra de coco análisis upper 323
Anexo 201. Corte 3 30° muestra 1 desnudo análisis lower 324
Anexo 202. Corte 3 30° muestra 1 desnudo análisis upper 324
Anexo 203. Corte 3 30 grados muestra 2 desnudo análisis lower 325
Anexo 204. Corte 3 30° muestra 2 desnudo análisis upper 325
Anexo 205. Corte 3 30° muestra 1 sintético análisis lower 326
Anexo 206. Corte 3 30° muestra 1 sintético análisis upper 326
Anexo 207. Corte 3 30° muestra 2 sintético análisis lower 327
Anexo 208. Corte 3 30° muestra 2 sintético análisis upper 327
Anexo 209. Corte 1 45° muestra 1 fibra de coco análisis lower 328
Anexo 210. Corte 1 45° muestra 1 fibra de coco análisis upper 328
Anexo 211. Corte 1 45° muestra 2 fibra de coco análisis lower 329
Anexo 212. Corte 1 45° muestra 2 fibra de coco análisis upper 329
Anexo 213. Corte 2 45° muestra 1 fibra de coco análisis lower 330
Anexo 214. Corte 2 45° muestra 1 fibra de coco análisis upper 330
Anexo 215. Corte 2 45° muestra 2 fibra de coco análisis lower 331
Anexo 216. Corte 2 45° muestra 2 fibra de coco análisis upper 331
Anexo 217. Corte 3 45° muestra 1 fibra de coco análisis lower 332
Anexo 218. Corte 3 45° muestra 1 fibra de coco análisis upper 332
Anexo 219. Corte 3 45° muestra 2 fibra de coco análisis lower 333
Anexo 220. Corte 3 45° muestra 2 fibra de coco análisis upper 333
Anexo 221. Corte 1 45° muestra 1 desnudo análisis lower 334
Anexo 222. Corte 1 45° muestra 1 desnudo análisis upper 334
Anexo 223. Corte 1 45° muestra 2 desnudo análisis lower 335
Anexo 224. Corte 1 45° muestra 2 desnudo análisis upper 335
Anexo 225. Corte 2 45° muestra 1 desnudo análisis lower 336
Anexo 226. Corte 2 45° muestra 1 desnudo análisis upper 336
Anexo 227. Corte 2 45° muestra 2 desnudo análisis lower 337
Anexo 228. Corte 2 45° muestra 2 desnudo análisis upper 337
Anexo 229. Corte 3 45° muestra 1 desnudo análisis lower 338
Anexo 230. Corte 3 45° muestra 1 desnudo análisis upper 338
Anexo 231. Corte 3 45° muestra 2 desnudo análisis lower 339

Anexo 232. Corte 3 45° muestra 2 desnudo análisis upper 339
Anexo 233. Corte 1 45° muestra 1 sintético análisis lower 340
Anexo 234. Corte 1 45° muestra 1 sintético análisis upper 340
Anexo 235. Corte 1 45grados muestra 2 sintético análisis lower 341
Anexo 236. Corte 1 45° muestra 1 sintético análisis upper 341
Anexo 237. Corte 2 45° muestra 1 sintético análisis lower 342
Anexo 238. Corte 2 45° muestra 1 sintético análisis upper 342
Anexo 239. Corte 2 45° muestra 2 sintético análisis lower 343
Anexo 240. Corte 2 45° muestra 2 sintético análisis upper 343
Anexo 241. Corte 3 45° muestra 1 sintético análisis lower 344
Anexo 242. Corte 3 45° muestra 1 sintético análisis upper 344
Anexo 243. Corte 3 45° muestra 2 sintético análisis lower 345
Anexo 244. Corte 3 45° muestra 2 sintético análisis upper 345

1. CAPÍTULO I

1.1. Introducción

Desde el inicio de los tiempos la relación entre el hombre y el medio ambiente ha sido de gran importancia, ya que gracias a los recursos que provee la naturaleza la humanidad ha podido sostener su existencia y ser el principal aporte en su desarrollo. Al transcurrir los años dicho lazo ha sido erradamente conformado con eventuales intervenciones de los humanos para la construcción de proyectos civiles de cualquier índole que se han desarrollado a lo largo de la historia. Pues la explotación de recursos naturales (deforestación, pérdida de biodiversidad, degradación de suelos, entre otros), agresividad climática y la contaminación han sido una de las principales causas de la fragilidad de nuestro ecosistema.

Los taludes son obras que por lo general son elaboradas con suelo, estas tienen una inclinación tal que garantiza la estabilidad de la estructura. Cuando se habla de deslizamientos se enfoca a una rama de la geotecnia que es el estudio de estabilidad de taludes, ya que es una parte fundamental para el diseño y construcción de varias obras de ingeniería. Los deslizamientos de taludes representan una gran dificultad debido a que ocasiona interrupción de caminos, derrumbes y en algunos casos la pérdida de vidas humanas. (Sobarzo, Villalobos, & King, 2011)

Al realizar un análisis científico de taludes se prevé que tenga problemas desde geomorfología, hasta la predicción de estabilidad para propósitos de la ingeniería y diseño de medidas correctivas, donde un deslizamiento amenaza vidas humanas, propiedades o medios de comunicación (Skempton & Hutchinson, 1969).

La mayoría de los inconvenientes presentes en estas estructuras son, **deslizamientos, meteorización, erosión y hundimiento**, prescindiblemente el problema más grave el deslizamiento (Cepeda Medina, Leal Leal , & García Cerezo, diciembre 2009). La erosión del suelo es la pérdida de partículas de suelo por fragmentación y arranque, debido a la alteración química o física (meteorización) modificando los parámetros de resistencia y permeabilidad, de manera que es propenso a que el talud falle y se produzca un deslizamiento, por efecto del agua, viento, gravedad o agricultura (Suárez Días, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas tropicales, 1998).

El agua de lluvia es el factor que más se asocia con la inestabilidad en taludes (variación de la presión de poros, variación del esfuerzo efectivo, por tanto de los parámetros de corte, aumento de la fuerza gravitacional por variación del peso unitario) o desencadenante de un proceso de erosión (Ing. Realpe Rivadeneira , 2021).

Es importante realizar un análisis de estabilidad de taludes y determinar el riesgo potencial de deslizamientos debido a la saturación en lugares que estén constantemente expuestas a persistentes precipitaciones, tales que se presentan por lo regular en los meses de invierno-otoño, de esta manera se podrá mitigar o evitar daños (Sobarzo, Villalobos, & King, 2011).

La erosión hídrica en el talud ocurre durante la temporada de precipitaciones, la superficie crítica de deslizamiento puede originarse por alguno de los siguientes motivos: humedad en la superficie del talud, incremento de agua subterránea o mayor humedad de la interfaz suelo–roca (Xie, Esaki, & Cai, 2004).

El objetivo principal de esta investigación es estudiar cómo afecta la erosión hídrica a los taludes modelados con diferentes ángulos de inclinación y analizar la eficacia de los mantos para el control de erosión por agua de lluvia normalizada en un suelo normalizado. Este trabajo de titulación toma como base la norma ASTM D7101 (Standard Index Test Method for Determination of Unvegetated Rolled Erosion Control Product (RECP) Ability to Protect Soil from Rain Splash and Associated Runoff Under Bench-Scale Conditions) y el ¨Manual de Operación del simulador de lluvia para la cuantificación de la infiltración, escorrentía y erosión de suelos¨ para su desarrollo.

1.2. Justificación

La importancia de realizar un estudio de estabilidad de taludes sirve para establecer medidas de prevención y control para reducir los niveles de amenaza y/o riesgo (Suárez Días, 1998), se registra que el 90% de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toma en cuenta sistemas de prevención. Los taludes pueden fallar por diversas razones como erosión, topografía, sismicidad, flujos de agua, por factores antrópicos, sufriendo procesos

geológicos devastadores, causando miles de pérdidas humanas y daño a la propiedad por decenas de dólares por año (Brabb & Harrod, July 1989).

A nivel mundial a lo largo del siglo XX se ha producido un crecimiento de población acelerado, este fuerte crecimiento genera un impacto en la distribución poblacional debido a que en la mayoría de los países no tienen en cuenta un plan que sea adecuado para el desarrollo y sostenibilidad de las ciudades. Por ende en la actualidad el porcentaje de pobreza ha incrementado, razón por la cual, las personas que son de escasos recursos optan por vivir en lugares aledaños ya que económicamente es más conveniente a comparación de residir en lugares céntricos.

Desde el punto de vista geológico la gente que vive en zonas andinas está en constante peligro a causa de la inestabilidad de suelos y la actividad volcano-tectónica, estos aspectos se relacionan con la juventud de sus montañas sometidas a procesos orogénicos.

El Ecuador al ser parte de La Cordillera de los Andes de norte a sur del país, es una zona conformada por hileras de montes, nevados, volcanes, páramos, valles y lagunas montañosa, por esta razón se encuentra sujeto a una serie de amenazas geológicas, a razón de su ubicación en el llamado Cinturón de Fuego del Pacífico (Varela & Ron, 2018), lo cual ha generado zonas susceptibles a la ocurrencia de procesos de movimientos en masa; es así que existen áreas donde éstos han causado pérdidas de vidas humanas e infraestructuras, afectando negativamente al desarrollo social y económico del país (Secretaria de Gestión de Riesgos, 2018).

En el país alrededor del 50% del territorio tiene numerosos problemas de procesos erosivos (Suárez Días, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas tropicales, 1998), debido a esta problemática en varias prefecturas del país realizaron varias obras de emergencia invernal como es el caso de Baños Tungurahua donde se realizó una inversión de $ 811.815,69 en obras civiles para estabilización (muros de contención, alcantarillas, puentes, etc) (Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua, 2020). Construcción de muros de hormigón armado en el sector La Palma – La Moya con un valor de $58.000. Construcción de muros con hormigón armado y hormigón ciclópeo, sector Río Cariacu (Patate), monto: $21.500 (Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua, 2020).

En la ciudad de Quito las personas que residen en las faldas de las laderas, en lo alto de taludes o en el fondo de las hondonadas están en un constante riesgo en la época invernal a causa de los deslizamientos. Los lugares montañosos con pendientes fuertes, suelo suelto o mucha agua en el subsuelo son los que más sufren daños (Diario El Comercio, 2011).

En el año del 2017 se registró que 60 barrios del Distrito Metropolitano de Quito son susceptibles a sufrir inundaciones mientras que 100 son propensos al movimiento de masas, por esta razón en el mismo año el DMQ en la Alcaldía de Mauricio Rodas se realizó una inversión de $31,5 millones para la construcción de obras de mitigación, colectores que eviten inundaciones, maquinaria, limpieza de sumideros y colocación de 22 pluviómetros en distintos puntos de la ciudad para obtener información permanente de los niveles de agua lluvia (Secretaria de Gestión de Riesgos, 2018).

Al transcurrir los años se han podido registrar graves afecciones a los barrios más vulnerables de la capital. Como es el caso del sector de Guayllabamba “Varios vehículos atrapados entre gran cantidad de piedras y lodo, a la altura del puente de Guayllabamba, donde se produjo un deslave por la fuerte lluvia que cayó en la zona. En la vía trabaja maquinaria y varios obreros.” (Extra.Ec, 2017)

Un caso similar en La Argelia Media al sur de la capital donde se generó un deslizamiento de tierra, gran cantidad de material se quedó en la vía Ventanas obstaculizando la circulación de al menos 10.000 personas que habitan en siete barrios cercanos a la zona afectada, por seguridad el Municipio de Quito decidió cerrar la calle (El Universo, 2017). Por estas cuestiones a causa de las fuertes precipitaciones los habitantes del sector solicitan al Municipio una solución definitiva para evitar el deslizamiento de tierras

Debido a los acontecimientos anteriormente expuestos se puede decir que es imprescindible establecer medidas de control para estabilización de taludes susceptibles a sufrir deslizamientos, provocado tanto por factores naturales como antrópicos. Para esta investigación se tomó en cuenta los desastres ocurridos a causa de la erosión hídrica ya que el 50% del territorio ecuatoriano padece de problemas de procesos erosivos. En particular la ciudad de Quito que durante la época invernal tiene un mayor riesgo de deslizamiento de taludes, en este caso se

podría señalar que la capital no cuentan con un correcto sistema de manejo de amenazas que permita disminuir los riesgos de un deslizamiento en las zonas más vulnerables de la ciudad evitando futuros daños materiales como humanos.

1.3. Alcance

El alcance del presente trabajo de disertación es analizar la influencia de la precipitación en taludes desnudos y cubiertos con geomantos para zonas que son propensas a la erosión. Para esta investigación se ha seleccionado la aplicación de geomantos de fibra de coco RECPs (Rolled Erosion Control Product) y geosintéticos TRMs (Turf Reinforcement Mats), para estabilización de taludes y control de erosión.

Una vez realizados los ensayos pertinentes en las muestras de suelo y en los biomantos, se modelan taludes de 15°, 30° y 45° a escala, conformados en grupos para su estudio. Estos son ensayados en una estructura que simula precipitación, con el fin de observar su comportamiento.

Con las observaciones resultantes de los ensayos se puede realizar un análisis comparativo entre las muestras y grupos de estudio los cuales son descritos en el capítulo VII. Sus efectos podrán ser evaluados a través de la pérdida de suelo a consecuencia de la erosión y medir la eficiencia que realmente pueden controlar los geomantos en condiciones estandarizadas (gotas de agua y resistencia del suelo), es importante mencionar que para esta investigación los modelos propuestos no pueden ser extrapolados los resultados a condiciones reales.

1.4. Disposición del plan

Para esta investigación se inicia con definiciones y propiedades de los suelos (Capítulo II). Se mencionan los conceptos más importantes sobre la estabilidad de taludes (Capítulo III). A continuación se presenta un capítulo dedicado solo a la precipitación y escorrentía, poniendo en énfasis las partes más importantes para la aplicación de este proyecto (Capítulo IV). Posteriormente se habla sobre la erosión (Capítulo V). Se mencionan los distintos tipos de revestimiento de taludes para estabilidad y control de erosión (Capítulo VI). En este capítulo de determina la metodología de pre-investigación y de investigación (Capítulo VII). Se muestran los resultados obtenidos en el Laboratorio de Resistencia de Materiales (Capítulo VIII). De igual manera se indican los resultados obtenidos en el Laboratorio de

Suelos (Capítulo IX). Con los datos obtenidos en los anteriores capítulos se procede a realizar el ensayo de precipitación y escorrentía, discusión de resultados de los mismos (Capítulo X). Finalmente se desarrollan las conclusiones y recomendaciones del proyecto de investigación (Capítulo XI). Se citan las fuentes bibliográficas utilizadas para esta disertación (Capítulo XII).

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo principal:

El objetivo principal de esta investigación es hacer un análisis comparativo de taludes de arena modelados a 15, 30 y 45° bajo precipitación induciendo a la erosión en cada modelo, estudiando la influencia de la lluvia simulada sobre cada espécimen los mismos que estarán cubiertos con y sin material para el control de erosión.

1.5.2. Objetivos Específicos:

- ✓ Elaborar un simulador de lluvia que será capaz de reproducir precipitaciones en laboratorio bajo condiciones específicas.
- ✓ Realizar un análisis comparativo de la cantidad de suelo erosionado entre los modelos desnudos (sin recubrimiento) y muestras recubiertas con geomantos (fibra de coco y sintético), examinando la influencia que tiene el geomanto sobre el espécimen de suelo.
- ✓ Realizar un análisis comparativo de la de escorrentía e infiltración entre los modelos desnudos (sin recubrimiento) y muestras recubiertas con geomantos (fibra de coco y sintético), examinando la influencia que tiene el geomanto sobre el espécimen de suelo.
- ✓ Evaluar el comportamiento y ventajas de los modelos con y sin biomantos sobre las muestras de suelo con diferentes ángulos de inclinación.
- ✓ Analizar la estabilidad de los modelos en base al incremento de resistencia en la superficie de falla lo cual permite mejorar el Factor de Reducción del talud (en base a la reducción de erosion).

2. CAPÍTULO II: DEFINICIÓN Y PROPIEDADES DE LOS SUELOS

2.1. Definición de Suelo:

Se llama a suelo a todo agregado natural de partículas minerales separables por medios mecánicos de poca intensidad, como agitación en el agua (Terzaghi & Ralph , 1955). El suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas sólidas (Braja M, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2015).

2.2. Definición de Roca:

Es un agregado conformado por minerales adheridos por fuerzas de cohesión permanente (Terzaghi & Ralph , 1955).

2.3. Mecánica de Suelos:

La mecánica de suelos es la aplicación de la ciencia física que se ocupa del estudio de las propiedades físicas del suelo y el comportamiento de las masas de suelos sometidos a diferentes tipos de fuerzas (Braja M, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2015).

2.4. Descripción cualitativa de los suelos

Los suelos son la parte superficial de la corteza terrestre que proviene de la alteración química o física y la descomposición de las rocas, estos están compuestos por materia orgánica, minerales, agua y aire. Evolucionan bajo los efectos de la gravedad, temperatura, vientos, precipitaciones, entre otros (Sáez, 2010).

2.4.1. Origen

ORIGEN	DESCRIPCIÓN
Alteración mecánica o físico-química de la meteorización de las rocas bajo efectos naturales.	Esfuerzos de origen tectónico, ciclo de hielo-deshielo, choques térmicos.
	Choque y desgaste de las rocas a causa del transporte natural: eólico, gravitacional, fluvial, marino, glaciar (las rocas pueden formar arenas, limos en casos especiales arcillas).
	Efectos químicos debido al agua
Descomposición de los organismos vivos.	Vegetales o animales (producen arcillas como producto de la descomposición).

Tabla 1. Origen del suelo
Fuente: (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 1973)

- Desintegración mecánica:

  Es la intemperización de las rocas por agentes físicos como el cambio de temperatura, congelación del agua, efectos de organismos, plantas, entre otros (Olguin Coca, 2011). Como producto de este proceso las rocas pueden llegar a formar limos, arenas, en casos especiales arcillas (Juárez, 2005).

- Descomposición química:

  Se producen cambios en la composición mineralógica o química de las rocas, el principal agente de la alteración química es el agua ya que produce hidratación, carbonatación y oxidación. Estos mecanismos producen arcilla como último producto de descomposición (Juárez, 2005).

Dependiendo de la temperatura es muy común encontrar formaciones de arcilla en áreas húmedas y cálidas, en zonas frías se encuentran formaciones arenosas o limosas y en los desiertos prevalece la arena debido a la ausencia de agua, ya que no permite que se desarrolle el fenómeno de la descomposición (Juárez, 2005).

El intemperismo puede permitir la formación de suelos residuales y transportados.

- **Suelo Residual:** Es aquel que al desgastarse se mantiene en el sitio de la erosión (Rico Rodríguez & Juárez Badillo , 1976).
- **Suelo transportado:** Las partículas depositadas pueden ser removidas y depositadas en otra zona mediante agentes geológicos (Rico Rodríguez & Juárez Badillo , 1976).

Se forman los depósitos en las faldas del talud debido a la combinación de escurrimiento en las laderas y por fuerzas gravitacionales, estos depósitos comúnmente suelen ser heterogéneos, sueltos y formado por material grueso (Juárez, 2005).

2.4.2. Características de las partículas de los suelos

a) Textura

Para identificar la textura de un suelo se consideran a todas las partículas menores a 2mm, según su tamaño estos pueden ser clasificados como arena, limo o arcilla. Las partículas que son mayores a 2mm pueden ser grava o roca. (Universidad Internacional de Riego, 2019)

Para la determinar la textura del suelo se realiza un análisis granulométrico basado en la norma ASTM D422, de esta manera se podrá identificar los porcentajes de arena, limo y arcilla.

Material	Características	Tamaño (mm)
Grava	Gruesa	30 a 70
	Media	5 a 30
	Fina	2 a 5
Arena	Gruesa	1 a 2
	Media	0.2 a 1
	Fina	0.1 a 0.2
Limo	Gruesa	0.006 a 0.02
	Fina	0.002 a 0.006
Arcilla	Gruesa	0.0006 a 0.002
	Fina	0.0002 a 0.0006

Tabla 2. Clasificación de las partículas de suelo según su tamaño
Fuente: (Juárez, 2005)

b) Angularidad y redondez:

Describe los rasgos particulares, formas y tamaños de las partículas, para identificar se usan los siguientes términos:

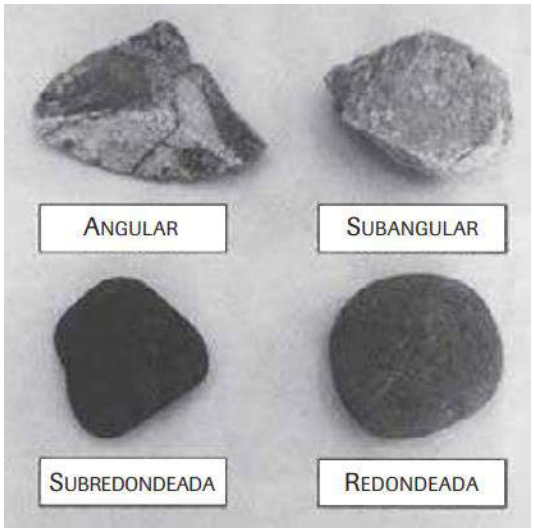


Figura 1. Forma de las partículas voluminosas. (Cortesía de Braja M. Das, Henderson, Nevada)
Fuente: (Braja M, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2015, pág. 45)

- ✓ Angular:

  Sus bordes son agudos con caras relativamente planas.

- ✓ Subangular:

Similares a las angulosas, con bordes algo redondeados.

- ✓ Redondeada:

  Tienen lados suavemente curvos y sin bordes.

- ✓ Subredondeada:

  Casi todas sus caras son planas con esquinas y bordes redondos.

2.4.3. Propiedades Generales de los suelos

- El suelo es un material no isotrópico, con diferentes propiedades físicas no son iguales en todas las direcciones, por las formas de las partículas que lo constituyen y la dirección en la que se depositan por acción de la gravedad.
- Las partículas de los suelos están débilmente unidas entre ellas y pueden separase fácilmente por agitación o trituración bajo el agua (Sáez, 2010) describiéndose como un material único y de naturaleza compleja.
- El suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) compuesto por la mezcla de diversos elementos sólidos, líquidos y gaseosos, los cuales forman las tres fases que lo integran (Braja M, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2015).
- El comportamiento del suelo depende del tamaño de partículas y el contenido de agua que este posea. Sí el suelo tiene el tamaño de partículas mayor, en este existirá un flujo de agua mediante la porosidad del suelo. Cuando el suelo se encuentre húmedo se hincha y cuando este se encuentre seco se contraerá.
- Por lo regular las **propiedades físicas** (textura, porosidad, estructura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje y consistencia) limitan el uso del suelo en la ingeniería como en la agricultura.

2.4.4. Diagrama trifásico del suelo

Las fases del suelo están ligadas a la naturaleza de sus características física-químicas, mecánicas y la historia del suelo (transporte, depósito, evolución posterior a la sedimentación). El suelo puede ser representado en un diagrama de tres fases el cual se compone de materia en estado sólido, líquido y gaseoso (Braja M, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2015).

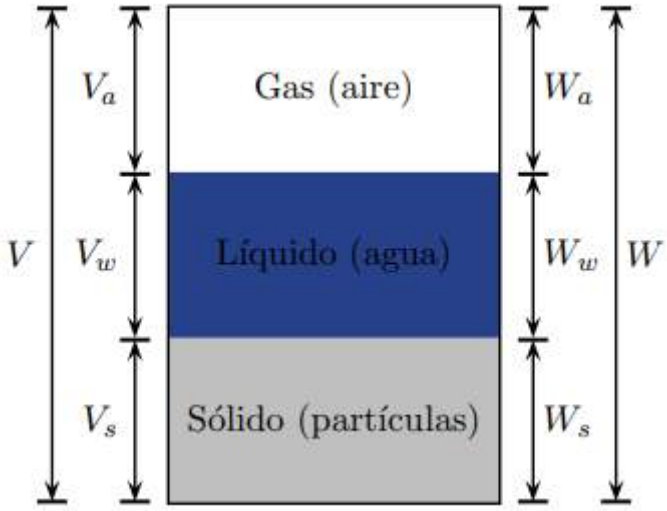


Figura 2. Distribución esquemática de las tres fases del suelo
Fuente: (Sáez, 2010, pág. 18)

- ✓ Fase sólida:

  Esta es la fase más estable del suelo y la más representativa, donde se constituyen partículas minerales (Juárez, 2005). La fase sólida de un suelo está caracterizada por la descripción de sus partículas elementales (Dimensiones, formas, superficie, naturaleza química y mineralógica) (Sáez, 2010).

- ✓ Fase líquida:

  Por lo general esta fase está constituida por el agua, también en algunos casos puede existir otro tipo de líquido (Juárez, 2005).

- ✓ Fase gaseosa:

  Esta fase está compuesta esencialmente de aire, de igual manera puede existir la presencia de otros gases (vapores sulfurosos, anhídrido carbónico, entre otros).

2.5. Descripción cuantitativa

La caracterización de un suelo puede ser determinada mediante la identificación de propiedades físicas, mecánicas o químicas. Esta identificación se lleva a cabo en base de ensayos, ya que se puede proveer una descripción cuantitativa detallada. La importancia de describir un suelo de forma cuantitativa radica en que pueden existir suelos cualitativamente similares que tienen comportamientos mecánicos muy distintos (Sáez, 2010).

2.5.1. Relaciones volumétricas y gravimétricas entre las fases del suelo

El suelo se compone de materia en estado sólido, líquido y gaseoso, partiendo de la figura 4, es posible relacionar los volúmenes de cada fase de suelo. Constituyendo

el volumen de sólidos en la fase sólida, mientras que en las fases líquida y gaseosa se comprende el volumen de vacíos (Juárez, 2005).

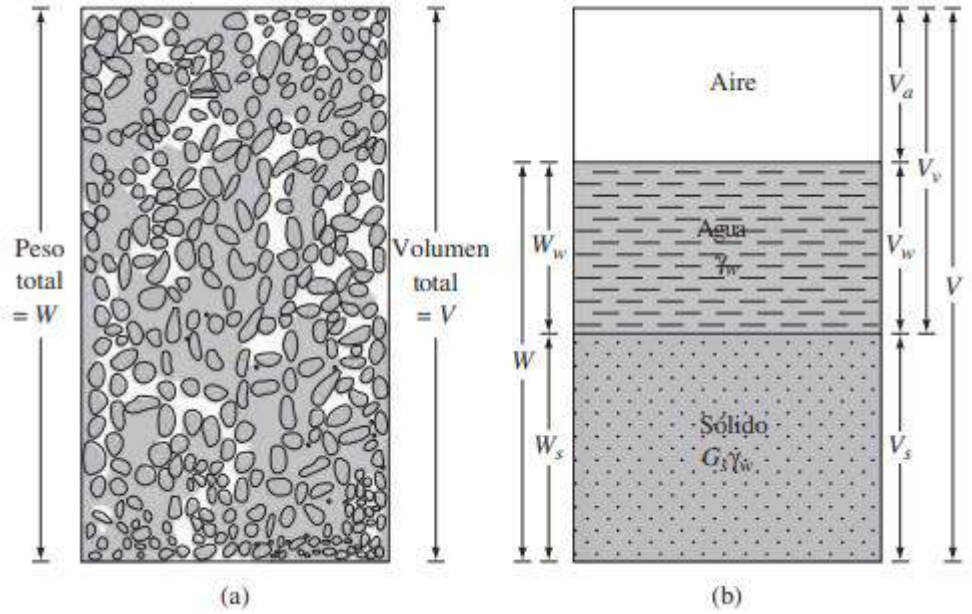


Figura 3. (a) Elemento de suelo en estado natural; (b) tres fases del elemento de suelo
Fuente: (Braja M Das, 2015, pág. 50)

- Para determinar la relación entre peso-volumen, separamos las tres fases como se muestra en la figura 2, dicho esto el volumen total de una muestra de suelo se puede expresar como:

$$V = Vs + Vv$$

$$V = Vs + Vw + Va$$

V: volumen total de la masa

Vs: volumen de sólidos

Vv: volumen de vacíos

Vw: volumen de agua

Va: volumen de aire

- Suponiendo que el peso del aire es insignificante:

$$W = Ws + Ww$$

W: peso de la masa

Ws: peso de la fase sólida de la muestra

Ww: peso del agua

- **Relaciones de Volumen**

a. *Relación o índice de vacíos (e)*

Es la proporción entre el volumen de vacíos y el volumen de sólidos, se expresa de forma decimal (es adimensional).

$$e = \frac{V_V}{V_s}$$

V_V : Volumen de vacíos

V_S: Volumen de sólidos

b. *Porosidad (n)*

Es la razón entre el volumen de vacíos y el volumen total, se expresa como porcentaje.

$$n(\%) = \frac{V_V}{V_t}\ x\ 100$$

V_V : Volumen de vacíos

V_t: Volumen total

c. *Grado de saturación (S)*

Es la relación entre el volumen de agua y volumen de vacíos, se expresa como porcentaje.

$$S(\%) = \frac{V_w}{V_v}\ x\ 100$$

V_V : Volumen de vacíos

V_w: Volumen de agua

Nota:

S=0% (suelo seco)

S=0-100% (suelo parcialmente saturado)

S=100% (suelo saturado)

- **Relaciones de Peso**

a) *Contenido de humedad* o contenido de agua *(w)*

Es la relación entre el peso de agua contenida en la muestra y el peso de la fase sólida (se expresa en porcentaje).

$$w\ (\%) = \frac{peso\ inicial - peso\ seco}{peso\ seco} x100 = \frac{\mathrm{W}_w}{\mathrm{w}_s} x[100]$$

W_s : Peso de los solidos

W_W: Peso del agua

b) Densidad del suelo (ρ)

Es la relación de la masa total de la muestra de suelo y el volumen, se expresa en (kg/m3).

$$\rho = \frac{m}{V}$$

m : Masa total de la muestra de suelo

V: Volumen total del suelo

- *Densidad del seca del suelo (ρ_d)*

  Se define por la relación entre la masa de sólidos de la muestra de suelo y el volumen del suelo, se expresa como (kg/m3).

$$\rho_d = \frac{m}{V}$$

m_s : Masa de los sólidos del suelo

V: Volumen

- *Densidad relativa (D_r):*

  Se utiliza para indicar la densidad in situ o soltura de suelo granular. El valor de D_r puede variar desde 0 para el suelo muy suelto, a un máximo de 1 para el suelo muy denso, se representa en porcentaje (Braja M Das, 2015).

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

$e_:$: Relación de vacíos in situ del suelo

e_{max} : Proporción de vacíos del suelo en la condición más suelta

e_{min} : Proporción de vacíos del suelo en la condición más densa

Densidad relativa (%)	Descripción del depósito de suelo
0–15	Muy suelto
15–50	Suelto
50–70	Medio
70–85	Denso
85–100	Muy denso

Figura 4. Descripción cualitativa de depósitos granulares de suelo
Fuente: (Braja M Das, 2015, pág. 62)

c) *Peso unitario o peso específico (γ)*

Es definido como la relación entre el peso del suelo por unidad de volumen, se expresa en (kN/m3), (gr/cm3) o (ton/m3).

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

W: Peso natural total de la muestra

V: Volumen total

- *Peso específico seco (γd)*

Es la relación del peso del sólido y el volumen total del suelo (se considera el volumen constante sin tomar en consideración la contracción del suelo).

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_T}$$

W_s : Peso seco de la muestra

V_T: Volumen total

- *Peso específico del suelo (γ_s)*

Éste se define como la relación entre el peso de los sólidos más el peso del agua y el volumen del sólido.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

W_s : Peso de los solidos

V_s: Volumen de la fase solida

Nota:

γ Arenas: 2,65 gr/cm^3 (Leoni, 2010)

γ Arcillas: 2,5-2,9 gr/cm^3 (Leoni, 2010)

- *Peso específico saturado (γ_{sat})*

Es la relación del peso de la muestra de suelo saturada con agua por unidad de volumen.

$$\gamma_{sat} = \frac{W_w + W_S}{V}$$

W_S : Peso de la muestra seca

W_w : Peso del agua

V: Volumen

- *Peso específico del agua (γ_w)*
  Es el peso específico de las partículas de agua que se encuentran en la muestra de suelo, su valor tiene un poco de diferencia con relación al peso específico del agua destilada.

$$\gamma_w = 1000\ kgf/m^3$$
$$\gamma_w = 1\ Ton/m^3$$
$$\gamma_w = 9{,}81\ kN/m^3$$

- *Peso específico del agua destilada (γ_o)*
  Es el peso específico de las partículas de agua destilada que se encuentran a 4°C, con la presión atmosférica a nivel del mar.

$$\gamma_o = 1000\ gr/cm^3$$

- *Peso específico sumergido (γ')*
  Es el peso específico del suelo sumergido en agua, por el efecto del empuje según el principio de Arquímedes (el peso del suelo será menor en el agua a comparación con el aire).

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

γ_{sat}= Peso específico saturado

γ_w= Peso específico del agua

d) Gravedad específica (Gs)

Es la relación del peso específico del suelo y el peso específico del agua. El rango del Gs en la mayoría de los suelos es de 2,65-2,70 (veces más pesada que el peso del agua).

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$
$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

2.5.2. Límites de Atterberg o de consistencia

Atterberg desarrollo un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino, desarrollado con diferentes porcentajes de humedad. Sí el contenido de humedad es bajo, el comportamiento del suelo será como un sólido quebradizo. Si

el suelo presenta mayor contenido de agua su comportamiento se asemejará a un líquido (Braja M, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2015).

Por lo tanto dependiendo de la humedad, la naturaleza del suelo puede ser dividido en cuatro estados: sólido, semisólido, plástico y líquido (Braja M, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2015).

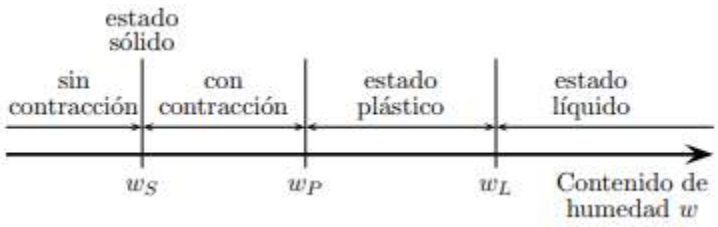


Figura 5. Estados del suelo en función del contenido de humedad.
Fuente: (Sáez, 2010, pág. 21)

- **Límite de contracción**

El suelo se contrae a medida que este pierde humedad gradualmente, al perder continuamente humedad alcanza un estado de equilibrio hasta el punto en el que más pérdida de humedad no dará lugar a ningún cambio de volumen (Braja M, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2015).

Se define como límite de contracción al contenido de humedad (en porcentaje) cuando la masa de suelo cambia de volumen (Braja M, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2015).

$$L_C = w - \frac{100(V_h - V_s) * \gamma_W}{w_o}$$

Lc= Límite de contracción en porcentaje

W= Contenido de humedad

Vh= Volumen de muestra húmeda

Vo= Volumen de muestra seca

Wo= Peso de la muestra seca

γ_W= Peso unitario del agua

- **Límite de plástico W_P**

Se describe como el contenido de humedad (porcentaje), en el que la muestra de suelo al enrollarse en hilos de forma elipsoidal de 3.2 mm de diámetro se desmorona (Braja M, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2015).

- **Límite líquido W_l**

Esta entre el estado líquido y plástico, este límite se determina a través de un dispositivo mecánico normalizado llamado *¨Aparato de Casagrande¨*, el cual está constituido por:

- Una cuchara de bronce
- Manivela
- Altura de caída regulable
- Base normalizada
- Espátula de acero inoxidable



Fotografía 1. Copa de Casagrande
Fuente: (Ing.Albuja & Ing. Montero, 2017, pág. 9)



Fotografía 2. Ranulador ASTM y AASHTO-espátula-pipeta-capsulas-tamiz 40-vidrio normado
Fuente: (Ing.Albuja & Ing. Montero, 2017, pág. 9)

El límite líquido se definirá como el contenido de agua necesaria para que la muestra de suelo seco fluya por vibración, el procedimiento se describe detalladamente en la Norma ASTM D4318 - 17e1 ¨ Métodos de prueba estándar para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos¨.

- **Índice de Plasticidad**

Indica la magnitud del intervalo de humedades donde el suelo posee de consistencia plástica. (Sáez, 2010).

$$IP = WL - WP$$

Indice de plasticidad	Grado de plasticidad
$0 < I_p < 5$	Suelos no plásticos
$5 < I_p < 30$	Suelos poco plásticos
$30 < I_p < 50$	Suelos plásticos
$50 < I_p$	Suelos muy plásticos

Figura 6. Actividad de minerales arcillosos
Fuente: (Sáez, 2010)

En suelos del mismo origen el límite líquido y el índice de plasticidad, están vinculados por una relación lineal empírica (separa los limos y arcillas) conocida como la ¨Recta de Casagrande¨ (Sáez, 2010).

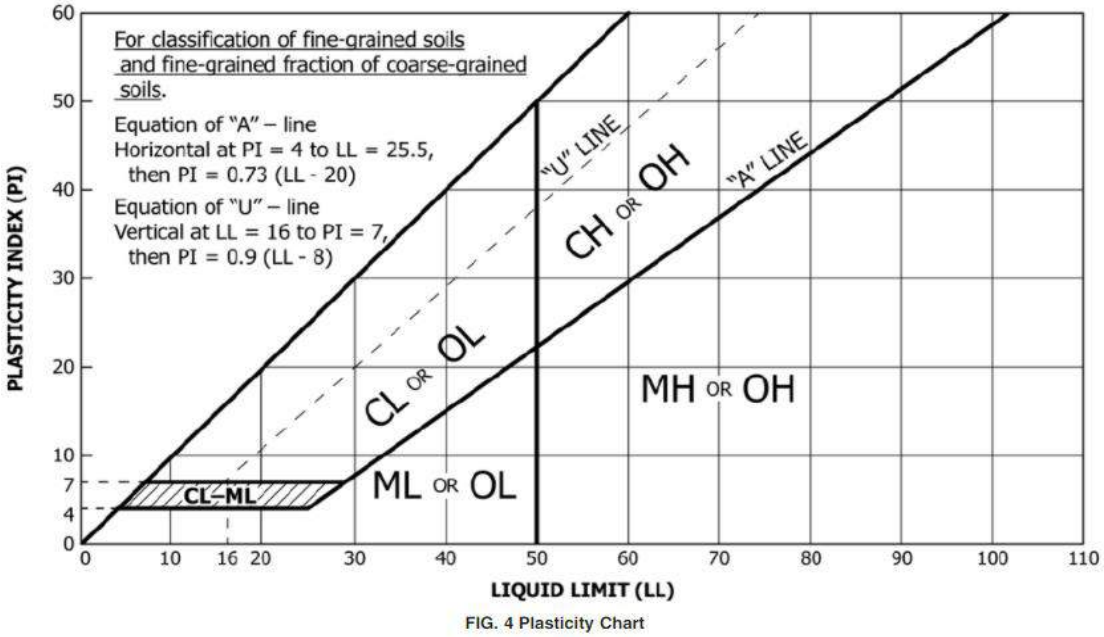


Figura 7. Plasticity Chart
Fuente: (ASTM D2487-17e1, 2017, pág. 6)

Línea A: $IP = 0{,}73(WL - 20)$

Línea U: $IP = 0{,}90(WL - 8)$

2.5.3. Distribución del tamaño de partículas

El tamaño de una partícula de suelo depende de su dimensión, forma y medida obtenido por medio del análisis granulométrico por tamizado para partículas mayores a 75 micras y análisis hidrométrico o por sedimentación para partículas más finas menores a 75 micras (Lambe & Whitman, 2004).

El análisis granulométrico es utilizado para determinar el tamaño de partículas sólidas (grueso y fino) que constituyen a una muestra de suelo (gradación del suelo), se puede establecer con la distribución estadística en porcentaje de la cantidad de granos de distintos tamaños.

a. Granulometría por Tamizado

El análisis granulométrico por tamizado se obtiene de acuerdo a la Norma ASTM D D6913 / 6913M-17: Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis. Este procedimiento se realiza con un grupo de tamices graduados de diferentes tamaños de abertura ordenados de forma decreciente, en cada tamiz se retienen las partículas que pasan el tamiz superior. (Ing.Albuja & Ing. Montero, 2017)

- El procedimiento de ensayo consiste en obtener una muestra representativa de suelo según el tamaño de partícula de este. Registrar el contenido de humedad de la muestra previo al lavado sobre el tamiz N°200 con el fin de eliminar finos.
- Después del proceso de lavado se debe secar la muestra en el horno de 12-16 horas, el suelo seco es vertido en el juego de tamices normalizados se debe agitar con un movimiento horizontal y vertical durante 10-20 minutos, manteniendo la muestra en constante movimiento sobre la malla.

N°	***mm***
3/8	9,5
4	4.75
8	2,36
10	2
16	1,18
30	0,6
40	0,425
50	0,3
100	0,15
200	0,075

Tabla 3. Serie de Tamices.
Fuente: (Elaboración propia)

- Al verter la muestra sobre los tamices se debe agitar con un movimiento horizontal y vertical, manteniendo la muestra en constante movimiento sobre la malla.
- Pesar la cantidad de suelo retenido o pasante en cada tamiz, la sumatoria de las masas retenidas en cada tamiz debe dar un número similar al peso inicial de la muestra.
- Se debe tomar en cuenta:
    - Tamiz #4: Separa gravas de arenas
    - Tamiz #10: Separa arena gruesa de arena media
    - Tamiz #40; Separa arena media de arena fina
    - Tamiz #200: Separa partículas gruesas de finas



Fotografía 3. Tamices (N° 4, 10, 40, 200)
Fuente: (Ing.Albuja & Ing. Montero, 2017, pág. 8)

- Las partículas retenidas en el tamiz #200 grava y arena son llamados suelos granulares o no cohesivos. La arcilla como un suelo cohesivo y el limo considerado entre los suelos cohesivos y granulares.

b. Granulometría por hidrómetro

El análisis granulométrico está basado en la Norma ASTM D7928-16: Standard Test Method for Particle-Size Distribution (Gradation) of Fine-Grained Soils Using the Sedimentation (Hydrometer) Analysis. Este se realiza para las partículas de suelo pasantes el tamiz N°200 (0.075 mm), el diámetro del grano será calculado según la ley de Stokes que se basa en el método de sedimentación, obteniendo una granulometría ininterrumpida. (Sáez, 2010)

La ley de Stokes permite determinar el diámetro de la partícula de suelo a través de la velocidad con la que viaja un fluido viscoso (Sáez, 2010).

$$v_{dec} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\,\eta}\ D^2$$

v_{dec} : Velocidad límite de decantación

η: Viscosidad del fluido

γ_s: Densidad absoluta del material

γ_w: Densidad absoluta del agua

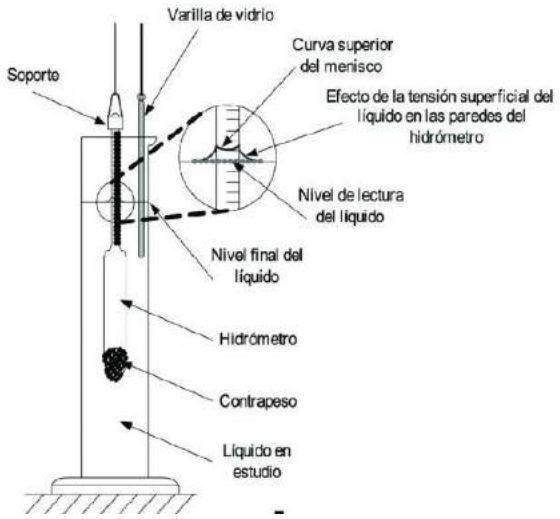


Figura 8. Hidrómetro sumergido.
Fuente: (Fernando, 2009, pág. 37)



Fotografía 4: Hidrómetro
Fuente: (Ing.Albuja & Ing. Montero, 2017, pág. 8)

c. Curva Granulométrica

Con los resultados obtenidos en laboratorio del material, especialmente con la relación que existe entre las aperturas de los tamices y el porcentaje que pasa de cada tamiz, se procede a realizar la curva granulométrica en escala semi-logarítmica. El eje de las ordenadas representa el porcentaje pasante del material, mientras que el eje de las abscisas determina el tamaño de los finos.

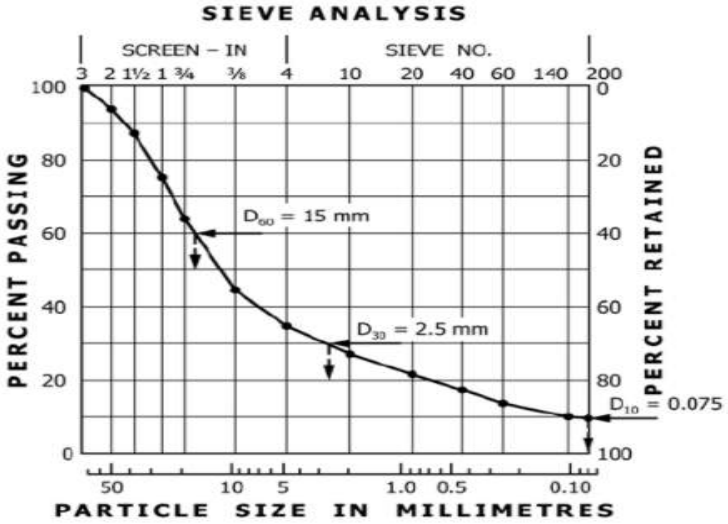


Figura 9. Cumulative Particle-Size Plot
Fuente: (ASTM D2487-17e1, 2017, pág. 6)

Con los datos obtenidos de la curva granulométrica se puede determinar el D_{10}, D_{30} , D_{50} y D_{60} (10%, 30%, 50% y 60% del material), representan el porcentaje de partículas de suelo más pequeñas que su diámetro indicado.

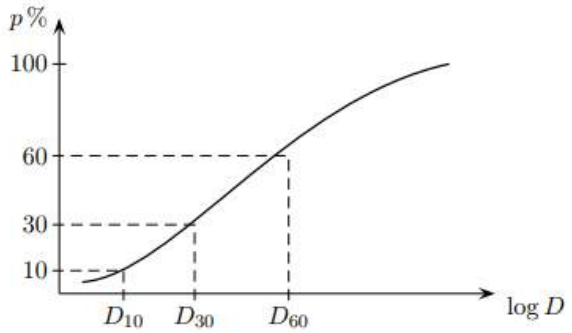


Figura 10. Curva granulométrica. Definición de D_{10}, D_{30} y D_{60}
Fuente: (Sáez, 2010, pág. 20)

D_{10}: Tamaño de grano efectivo

D_{50}: Tamaño de grano medio

Obtenidos los porcentajes se puede determinar variación de tamaños de partículas con el ¨Coeficiente de Hazen o uniformidad¨ y adicionalmente se puede obtener el ¨Coeficiente de Curvatura¨:

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Tipo de suelo	Cu		Cc
	Bien gradado	Mal gradado	Bien gradado
Grava	> 4	≤ 4	1 ≤ Cc ≤ 3
Arena	> 6	≤ 6	1 ≤ Cc ≤ 3

Tabla 4. Coeficientes de uniformidad y curvatura en suelos bien graduados
Fuente. (Sáez, 2010, pág. 20)

Los coeficientes nos indican de qué manera se comporta el suelo, un suelo bien gradado es más estable ya que las partículas finas llenan los vacíos de las partículas más grandes, a comparación de un suelo mal gradado con estructura uniforme con menor estabilidad, debido a que tiene un menor mecanismo de clavamiento.

Suelo bien gradado: Existe una graduación continua de tamaños.



Figura 11. Well-graded soil
Fuente: (Mestanza Sanchez, 2021, pág. 6)

Suelo mal gradado: Existe una graduación uniforme de tamaños.



Figura 12. Uniformly graded soil
Fuente: (Mestanza Sanchez, 2021, pág. 6)

Suelo con gradación discontinua: Existe una graduación discontinua.

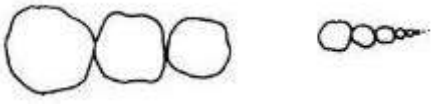
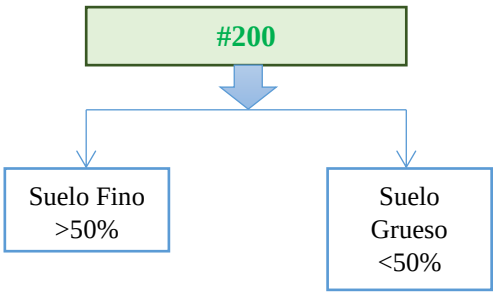


Figura 13. Gap-graded soil
Fuente: (Mestanza Sanchez, 2021, pág. 6)

Los coeficientes nos indican de qué manera se comporta el suelo, un suelo bien gradado es más estable ya que las partículas finas llenan los vacíos de las partículas más grandes, a comparación de un suelo mal gradado con estructura uniforme con menor estabilidad, debido a que tiene un menor mecanismo de clavamiento.

Sí el material pasante del Tamiz #200, es como se indica en el siguiente esquema se procederá a realizar la clasificación con Sistema de Clasificación de suelo SUCS:



Esquema 1. Pasante tamiz 200
Fuente: (Elaboración propia)

- Clasificación según sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)

Suelos no cohesivos o granulares			
Arena		**Grava**	
Arena bien gradada	SW	Grava bien gradada	GW
Arena pobremente gradada	SP	Grava pobremente gradada	GP
Arena limosa	SM	Grava limosa	GM
Arena arcillosa	SC	Grava arcillosa	GC

Tabla 5. Standard Classification of Soils for Engineering Purposes
Fuente: (Unified Soil Classification System) (ASTM D2487 - 00, 2000)

Suelos cohesivos o finos
Arcillas
Limos

Tabla 6. Standard Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) (ASTM D2487 - 00, 2000)

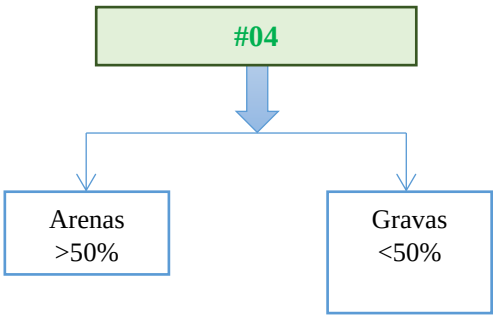
Tipo de Suelo	Prefijo	Subgrupo	Sufijo
Grava	G	Bien gradada	W
Arena	S	Pobremente gradada	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo (<50)	H

Figura 14. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)
Fuente: (Geoxnet, 2019)

G : Grava	(Gravel)	**W** : Bien graduado.	(well)
S : Arena	(Sand)	**P** : Mal graduado.	(poor)
M : Limo	(Moh)	**H** : Alta plasticidad.	(high)
C : Arcilla	(Clay)	**L** : Baja plasticidad.	(low)
geoxnet.com		**O** : Orgánico.	(organic)

Figura 15. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)
Fuente: (Geoxnet, 2019)

Si se tiene Suelo Grueso<50%, se debe verificar el material pasante en el Tamiz #4 como se muestra y posteriormente verificar en la tabla del Sistema de Clasificación de suelo SUCS:



Esquema 2. Pasante tamiz #4
Fuente: Elaboración propia

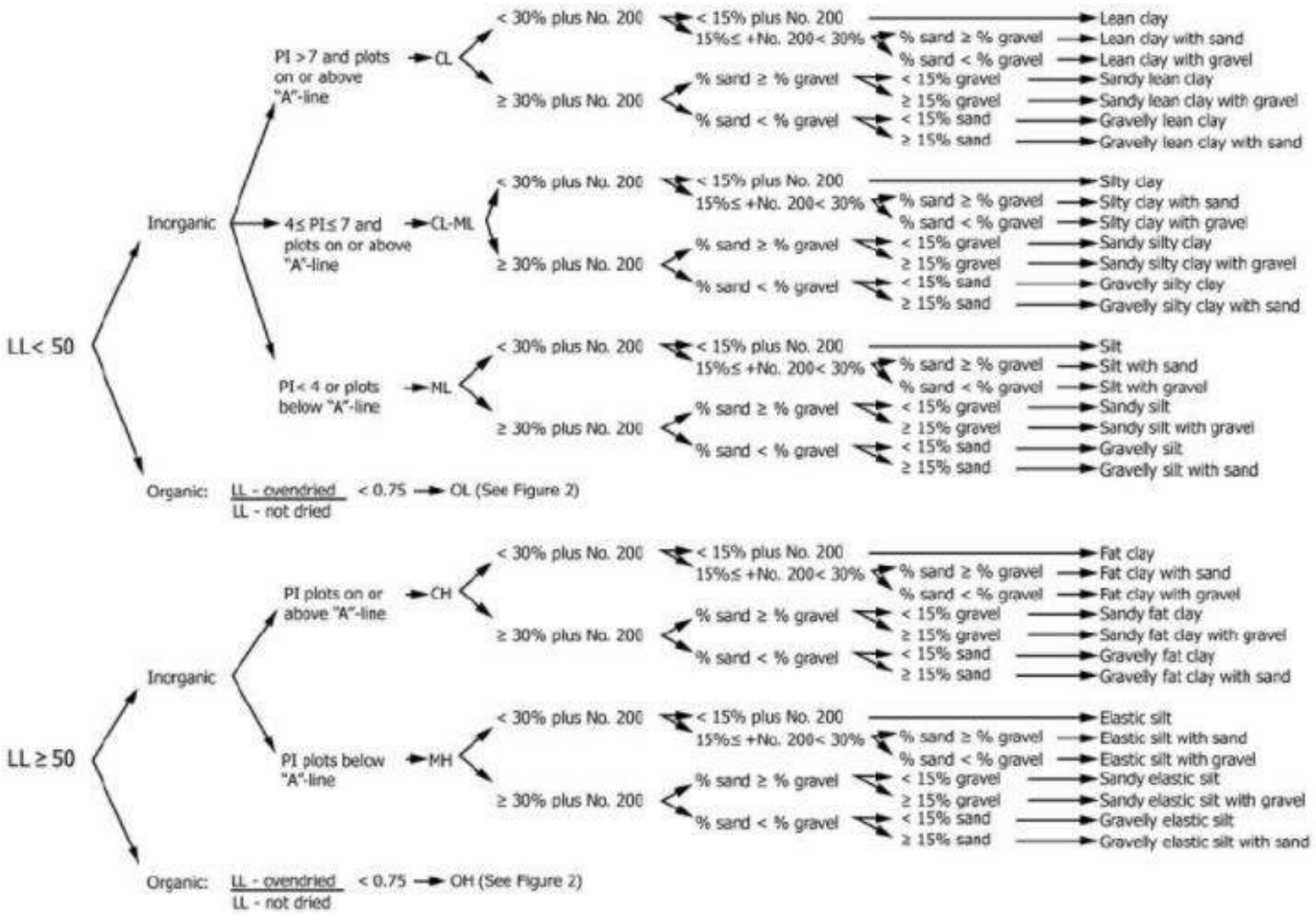


Figura 16. Flow chart for classifying Fine-Grained Soil (50% or more passes No.200 sieve)
Fuente: (ASTM D2487-17e1, 2017)

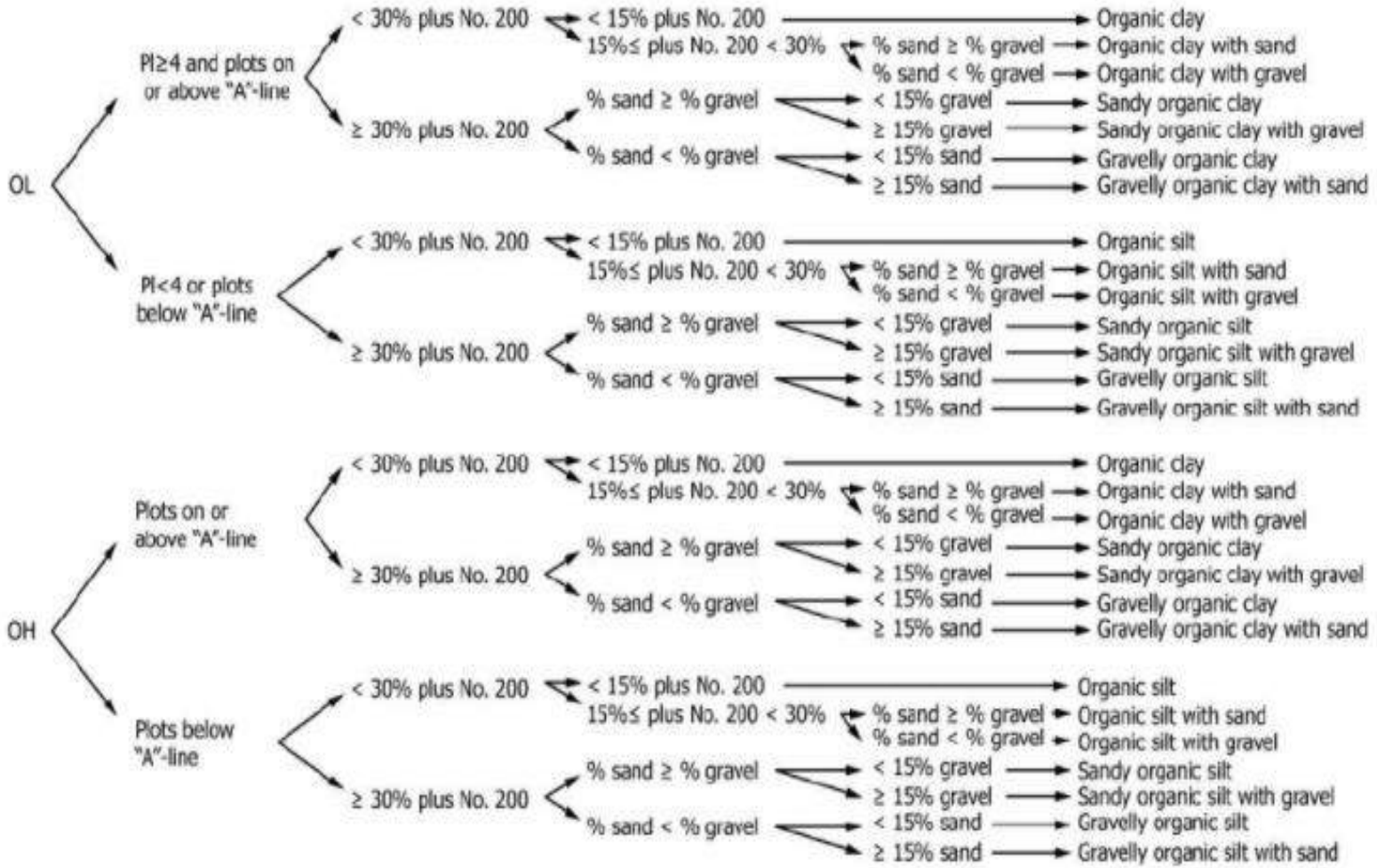


Figura 17. Flow chart for classifying Organic Fine-Grained Soil (50% or more passes No.200 sieve)
Fuente: (ASTM D2487-17e1, 2017)

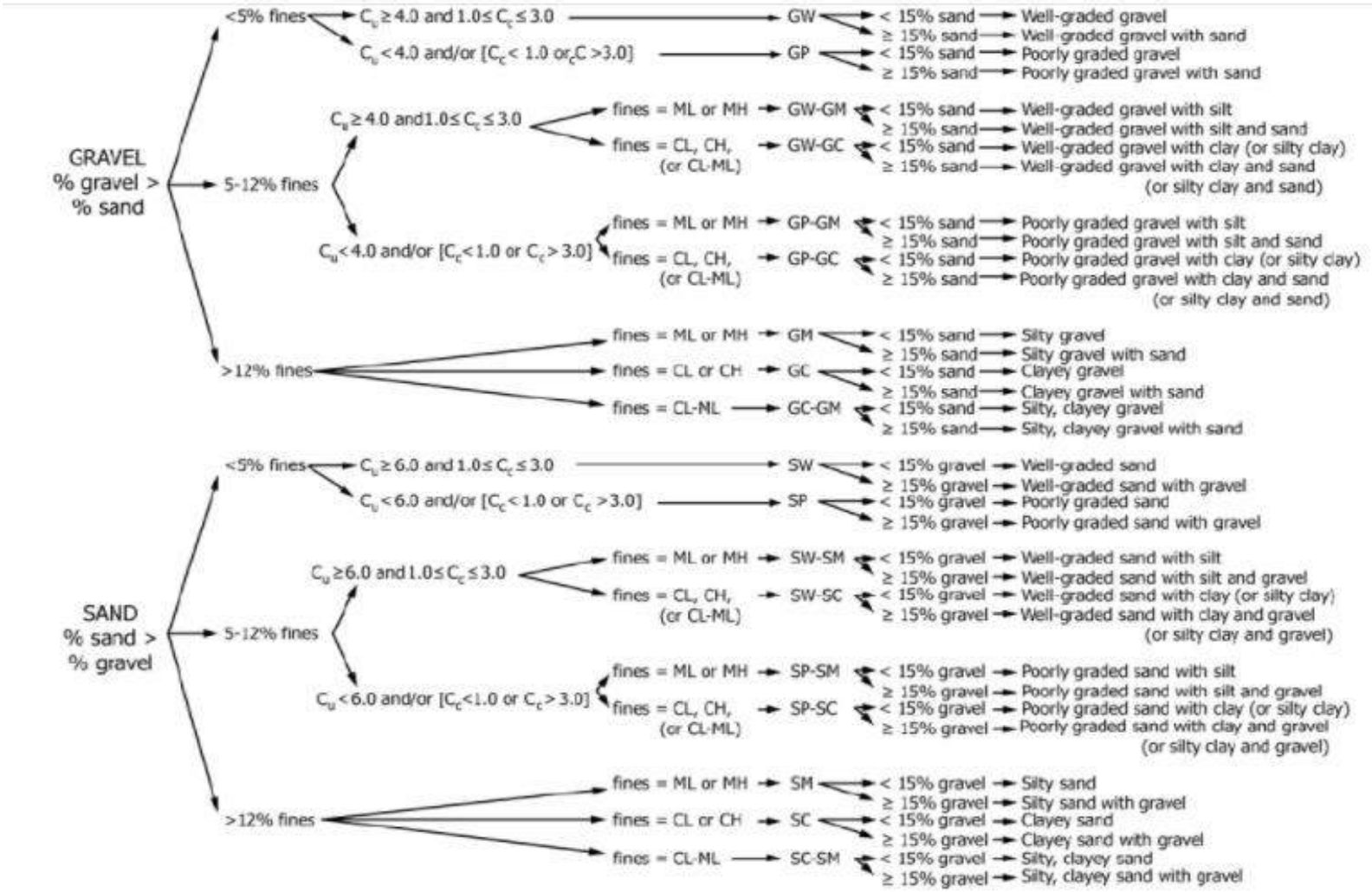


Figura 18. Flow chart for classifying Coarse-Grained Soil (50% retained on No.200 sieve)
Fuente: (ASTM D2487-17e1, 2017)

2.6. Esfuerzo y resistencia al cortante:

La resistencia cortante de un suelo es la resistencia interna por unidad de área que la masa de suelo puede ofrecer a la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano en su interior (Braja M, 2015). Se debe entender los principios de la resistencia al cizallamiento del suelo para analizar los problemas, como:

- Capacidad de carga de cimentaciones superficiales
- Estabilidad de taludes naturales o de origen humano
- Estimación de la presión lateral de tierra para el diseño de estructuras de retención de tierras
- Capacidad de carga de pilotes y pozos perforados

(Braja M, 2015).

La resistencia cortante de un suelo es la resistencia interna por unidad de área que la masa de suelo puede ofrecer a la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano en su interior (Braja M, 2015).

2.6.1. Envolvente de falla de Mohr-Coulomb

El círculo de Mohr se utiliza para representar la resistencia al cortante de suelos, utilizando la envolvente de falla Mohr–Coulomb, lo cual equivale a que una combinación crítica del esfuerzo normal y cortante. Los esfuerzos por encima de la envolvente de falla no pueden existir (Suárez Días, 1998).

La relación entre el esfuerzo normal cortante en un plano de falla se expresa como:

$$\tau_f = f(\sigma)$$

τ_f: Esfuerzo cortante en el plano de falla

σ : Esfuerzo normal en el plano de falla

El análisis de la ecuación de Coulomb requiere predefinir los parámetros, ángulo de fricción y cohesión, los cuales se consideran como propiedades intrínsecas del suelo (Suárez Días, 1998).

El agua reduce el valor de la resistencia del suelo dependiendo de las presiones internas o de poros, en la cual el factor μ está restando al valor de la presión normal. La presión resultante se le conoce con el nombre de presión efectiva σ´ (Suárez Días, 1998).

Esta curva se define como una recta aproximada dentro de un rango seleccionado de esfuerzos (Suárez Días, 1998).

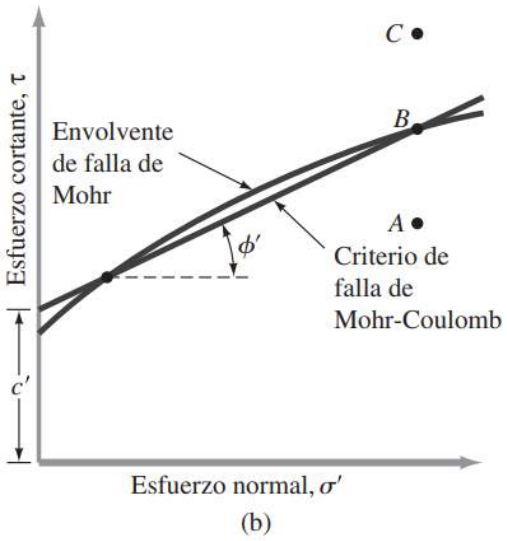


Figura 19. Envolvente de falla de Mohr y criterio de rotura de Mohr-Coulomb
Fuente: (Braja M, 2015, pág. 230)

Las rocas y los suelos al fallar al corte se comportan de acuerdo a las teorías tradicionales de fricción y cohesión, según la ecuación generalizada de Coulomb (Suárez Días, 1998):

$$\tau = c + \sigma_n tg\ \phi$$

En suelo saturado, el **esfuerzo normal total** en un punto es la suma del esfuerzo efectivo y la presión del agua intersticial (Braja M, 2015).

$$\sigma = \sigma' + \mu$$

El **esfuerzo efectivo**, σ´, lo realizan los sólidos del suelo (Braja M, 2015).

$$\tau = c' + \sigma' \text{ Tan } \varphi'$$

$$\tau = c' + (\sigma - \mu) \text{ Tan } \varphi' \text{ (Para suelos saturados)}$$

$$\tau = c' + (\sigma - \mu) \text{ Tan } \varphi' + (\mu - \mu a) \text{ Tan } \varphi' \text{ (para suelos parcialmente saturados)}$$

c´ = Cohesión o cementación efectiva

σ = Esfuerzo normal total

μ = Presión del agua intersticial o de poros

μa = Presión del aire intersticial

φ´ = Angulo de fricción interna del material φ´

2.6.2. Esfuerzo efectivo

El esqueleto puede transmitir esfuerzos normales y de corte por los puntos de contacto entre partículas y el agua a su vez puede ejercer una presión hidrostática, la cual es igual en todas las direcciones (Suárez Días, 1998). Los esfuerzos ejercidos por el esqueleto solamente, se conocen como esfuerzos efectivos y los esfuerzos hidrostáticos del agua se les denominan presión de poros (Suárez Días, 1998).

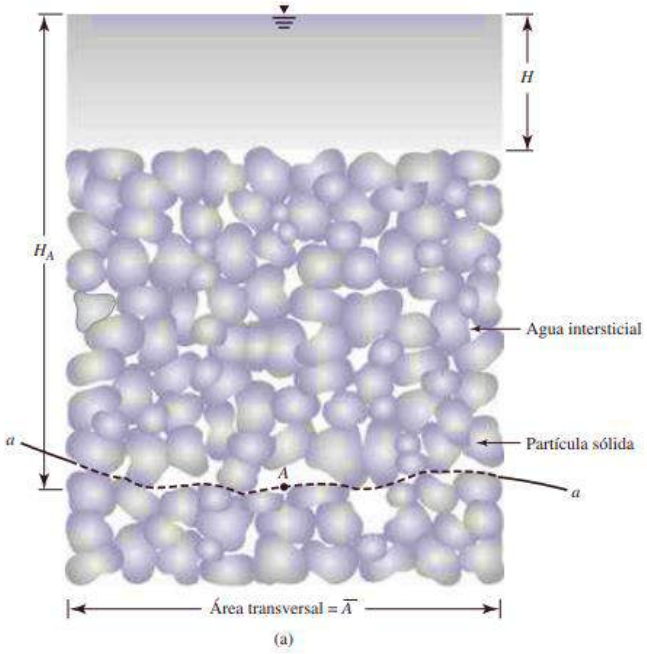


Figura 20. (a) Consideración del esfuerzo efectivo para una columna de suelo saturado y sin filtraciones
Fuente: (Braja M, 2015, pág. 156)

$$\sigma' = \sigma - \mu$$

σ = Esfuerzo normal total

μ = Presión del agua intersticial o de poros

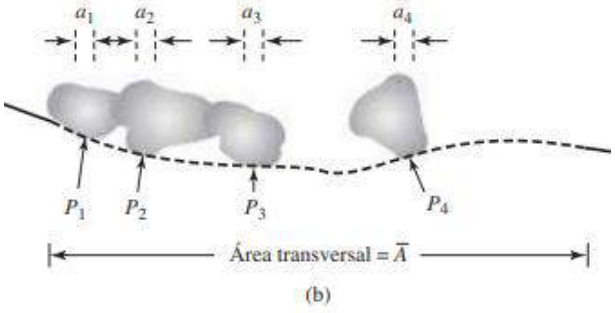


Figura 21. (b) las fuerzas que actúan en los puntos de contacto de las partículas del suelo a nivel del punto A
*F*uente: *(Braja M, 2015, pág. 156)*

Los esfuerzos efectivos son los que controlan el comportamiento del suelo, el análisis con esfuerzos totales podría utilizarse en problemas de estabilidad a corto plazo y las presiones efectivas para analizar la estabilidad a largo plazo (Suárez Días, 1998).

2.6.3. Cohesión

La cohesión es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas de suelo debido a las fuerzas moleculares y las películas de agua que producen tensión en la superficie, la cohesión de un suelo varía sí cambia el contenido de humedad (Suárez Días, 1998).

Algunos suelos presentan resistencia al corte aun cuando el esfuerzo efectivo es prácticamente cero. Esta resistencia es llamada cohesión (Morales Muñoz, 2012).

En suelos granulares en los cuales no existe ningún tipo de cementante o material que pueda producir adherencia, la cohesión se supone igual a 0 y a estos suelos se les denomina Suelos no Cohesivos (Suárez Días, 1998).

Los suelos cohesivos, poseen características de cohesión y plasticidad, pueden ser granulares con parte de arcilla y limo orgánico, que se les imparte cohesión y plasticidad. Son suelos arcillosos y limosos o sea material de grano muy fino (Morales Muñoz, 2012).

La saturación afecta la componente de cohesión según (Morgenstern y Matos, 1975), la eliminación de la succión que ocurre a medida que avanza el tiempo de una lluvia, disminuye la cohesión en el volumen de material sujeto a saturación temporal, provocando un deslizamiento (Suárez Días, 1998).

Existen dos tipos de cohesión:

- ✓ **Cohesión verdadera:** Es el resultado del enlace entre partículas (por ejemplo cementación) (Morales Muñoz, 2012).
- ✓ **Cohesión aparente:** En los suelos no saturados el agua en los poros produce un fenómeno de adherencia por presión negativa o fuerzas capilares. Esta cohesión aparente desaparece con la saturación (Suárez Días, 1998). Si el suelo está en estado húmedo, existe dentro del suelo resistencias aparentes, por las presiones de poro negativas, en un talud estable, pero si se produce saturación por

infiltración desaparecen, produciéndose la falla por disminución de las fuerzas resistentes (Suárez Días, 1998).

Densidad	Epoca	Cohesión aparente KN/m^2		
		Arena fina	Arena media	Arena gruesa
Suelta	Seca	6.5	3.0	1.0
	Húmeda	8.5	5.5	4.5
Densa	Seca	8.5	4.0	2.0
	Húmeda	10.5	6.5	5.5

Figura 22. Cohesión debida a fuerzas capilares (Bilz, 1995)
Fuente: (Suárez Días, 1998, pág. 242).

2.6.4. Ángulo de fricción

El ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de rozamiento en el plano de falla, es el parámetro más importante en la evaluación de la resistencia al corte (Suárez Días, 1998).

Coeficiente de rozamiento = Tan φ

$$tan_{\varphi} = \frac{\alpha}{e}$$

α: Constante que varía entre 0,325-0,6 dependiendo del suelo.

e: Índice e vacíos

Depende de varios factores:

a. Tamaño de los granos (ϕ crece si el diámetro promedio de las partículas aumenta)

b. Forma de los granos (suelos conformados por partículas más angulosas poseen ángulos de fricción más altos que suelos de partículas redondeadas)

c. Distribución de los tamaños de granos (ϕ tiende a aumentar en suelos bien graduados)

d. Densidad

Materiales no cohesivos	Ángulo de fricción (φ)		
	Suelto	Medio	Denso
Limos no plásticos	26-30	28-32	30-34
Arena uniforme fina a media	26-30	30-34	32-36
Arena bien gradada	30-40	34-40	38-46
Arena y grava	32-36	36-42	40-48

Figura 23. Ángulos de fricción y cohesión de materiales no cohesivos Adaptado de Houngh, 1996 y Lambe y Whitman, 1996
Fuente: (Morales Muñoz, 2012, pág. 26)

Estado de empaquetamiento	Densidad relativa (%)	Ángulo de fricción ϕ' (grados)
Muy suelto	<20	<30
Suelto	20–40	30–35
Compacto	40–60	35–40
Denso	60–80	40–45
Muy denso	>80	>45

Figura 24. Relación entre la densidad relativa y el ángulo de fricción en suelos sin cohesión
Fuente: (Braja M, 2015, pág. 230)

Dimensiones de los granos	Compacidad	Granos redondeados gran. uniforme	Granos angulosos bien graduados
Arena media	suelta	28° a 32°	32° a 40°
	media	32° a 34°	36° a 40°
	densa	35° a 38°	44° a 46°
Mezclas arena-grava:			
65 % grava y 35 % arena	suelta		39°
65 % grava y 35 % arena	media	37°	41°
80 % grava y 20 % arena	suelta	34°	
Roca fragmentada por explosivos		40° a 55°	

Figura 25. Valores referenciales de φ (Magnan, 1991)
Fuente: (Sáez, 2010, pág. 103)

2.6.5. Presión de poros

La presión de poros es la presión interna del agua de saturación. La presión de poros dentro del suelo depende de la localización de los niveles freáticos, presiones internas de los acuíferos y las características geológicas del sitio (Suárez Días, 1998).

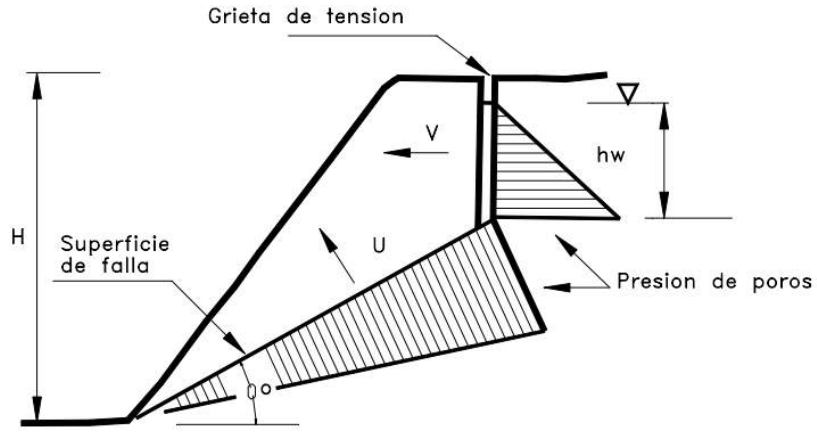


Figura 26. Presión de poros sobre una superficie de falla potencial.
Fuente: (Suárez Días, 1998, pág. 248).

La presión de poros varía de acuerdo a las variaciones del régimen de aguas subterráneas. Los incrementos de presión pueden ocurrir rápidamente en el

momento de una lluvia, dependiendo de la intensidad, infiltración etc. Para medir la presión de poros se utilizan piezómetros abiertos o redes de flujo (Suárez Días, 1998).

Un incremento en la presión de poros positiva o una disminución de la presión negativa, equivale a una reducción de resistencia al cortante y de la estabilidad (Suárez Días, 1998). Para el análisis de presiones de poros sobre una superficie se debe tomar en cuenta el drenaje, al existir drenaje, la presión de poros disminuye, pero cuando el drenaje es deficiente se puede presentar un aumento de la presión de poros en el pie del talud (Suárez Días, 1998).

Presiones de poro negativas

Las fuerzas resultantes de los efectos de tensión superficial son de tensión en el agua y generan presiones de poro negativas (menores que la presión atmosférica), esa tensión aumenta cuando el grado de saturación disminuye (Suárez Días, 1998).

2.6.6. Succión

La succión es un término muy utilizado para explicar el comportamiento de los suelos no saturados y la presencia de presiones de poro negativas (Suárez Días, 1998). La succión, está compuesta de dos elementos básicos: la succión matricial y osmótica, la suma de los dos es igual a la succión total (Suárez Días, 1998).

La succión matricial es la diferencia entre la presión del aire y la presión de poros, y la succión osmótica depende de las características químicas del fluido en los poros (Suárez Días, 1998).

La medición de la succión puede realizarse de varias formas:

- Succión matricial: Equivale a la energía requerida para mover una molécula de agua dentro de la matriz de suelo (Suárez Días, 1998).
- Succión total: Es la energía requerida para mover una partícula de agua desde el suelo a un estado de vapor (Suárez Días, 1998).

En un material granular libre de sales, la succión total y la succión matricial son iguales, sí aparece sales disueltas la succión osmótica puede alcanzar valores importantes (Suárez Días, 1998).

2.6.7. Coeficiente de permeabilidad

La facilidad con que el suelo fluye a través de un material se le denomina con el nombre de permeabilidad, depende del tamaño de los vacíos o poros, granulometría y las características del fluido. Su valor es alto en las gravas y baja en las arcillas (Suárez Días, 1998).

Material	Tamaño de poros	Permeabilidad (cm/seg.)
Arcilla	$<10^{-4} - 10^{-3}$	$<10^{-6}$
Limo	$10^{-3} - 10^{-2}$	$10^{-6} - 10^{-4}$
Arena	$10^{-2} - 10^{-1}$	$10^{-4} - 10$
Grava	$10^{-1} +$	$10 - 10^{-2}$

Figura 27. Tamaño de poros y permeabilidad (Lee, 1996)
Fuente: (Suárez Días, 1998, pág. 254).

2.6.8. Ensayos para obtener los parámetros de resistencia al corte

Para obtener los parámetros de resistencia al cortante se pueden realizar ensayos de resistencia de laboratorio o de campo o se pueden utilizar correlaciones empíricas a partir de ensayos indirectos u otras propiedades de los suelos (Suárez Días, 1998).

Los ensayos de laboratorio más comunes son los ensayos de Compresión triaxial y de Corte Directo (Suárez Días, 1998).

Ensayo de Corte Directo

El ensayo más común para obtener la resistencia de los suelos en los estudios de deslizamientos es el ensayo de Corte Directo, el mismo que no es complejo y económico de realizar. El ensayo de Corte Directo es de obligatorio uso cuando se trabaja a niveles bajos de esfuerzos o si se desea obtener la resistencia a lo largo de las discontinuidades (Suárez Días, 1998).

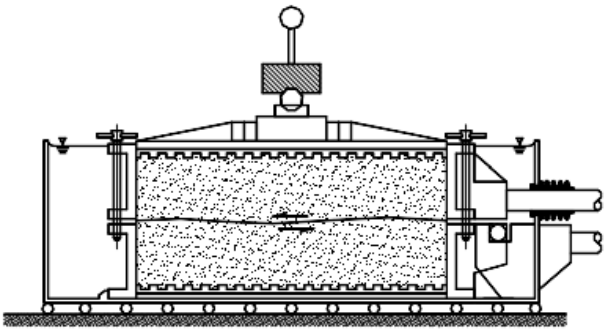


Figura 28. Detalle de la caja para ensayo de Corte Directo.
Fuente: (Suárez Días, 1998, pág. 93)

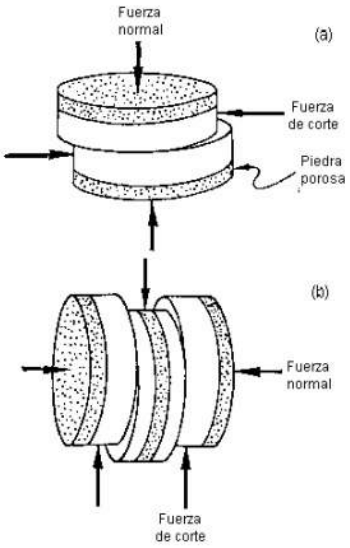


Figura 29. Esquema del ensayo del corte (a) sencillo y (b) del corte doble
Fuente: (I.N.V. E – 154 – 07, 2007, pág. 1)

Este ensayo se basa en la norma (ASTM D3080 / D3080M-11, 2011), donde realizar varias pruebas con distintas presiones normales para graficar la envolvente de falla Mohr Coulomb y obtener gráficamente los datos de la cohesión y ángulo de fricción (Suárez Días, 1998).

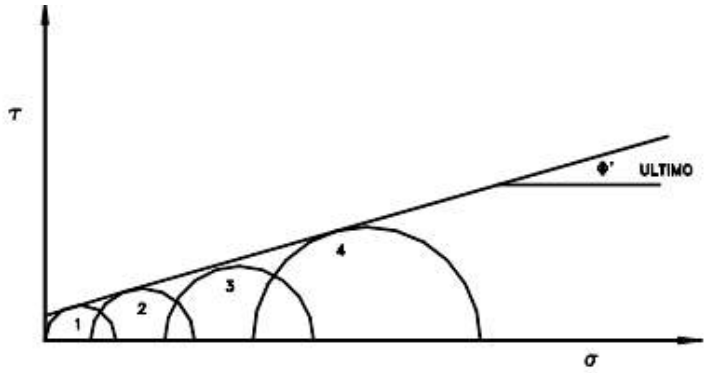


Figura 30. Círculo de Mohr y envolvente de falla de un ensayo Triaxial.
Fuente: (Suárez Días, 1998, pág. 91)

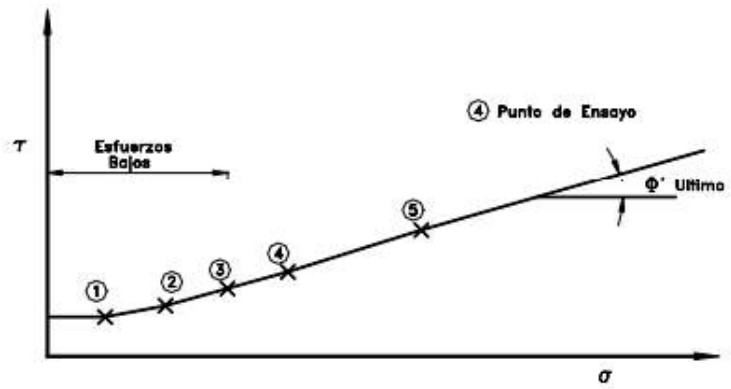


Figura 31. Esfuerzo de falla y envolvente de un ensayo de corte directo.
Fuente: (Suárez Días, 1998, pág. 94)

En este ensayo la resistencia al cortante puede medirse en un plano predeterminado, cortando la muestra con una determinada orientación. La superficie de falla es predefinida y no depende de las propiedades del suelo, y por esta razón los valores de resistencia obtenidos tienden a ser mayores que en los ensayos triaxiales (Suárez Días, 1998).

Para conocer una de estas resistencias en laboratorio una máquina especial para corte directo, induce a una falla en un plano determinado donde actúan los esfuerzos:

- Esfuerzo normal σ_n: Fuerza externa debido a la carga vertical (Pv) (Rojas Gavilan, 2010/2011).
- Esfuerzo cortante **τ**: A causa de la aplicación de la carga horizontal, se van midiendo las deformaciones $\mathscr{E}$ y con estos valores es posible graficar la tensión de corte **τ**, el punto máximo de tención de corte es la resistencia al corte del suelo (Rojas Gavilan, 2010/2011).

Ecuación de coulomb:

$$\tau = c + \sigma_n * tg\ \phi$$

La ecuación de corte depende de la cohesión (c) y la fricción interna del suelo (ϕ) (Rojas Gavilan, 2010/2011)

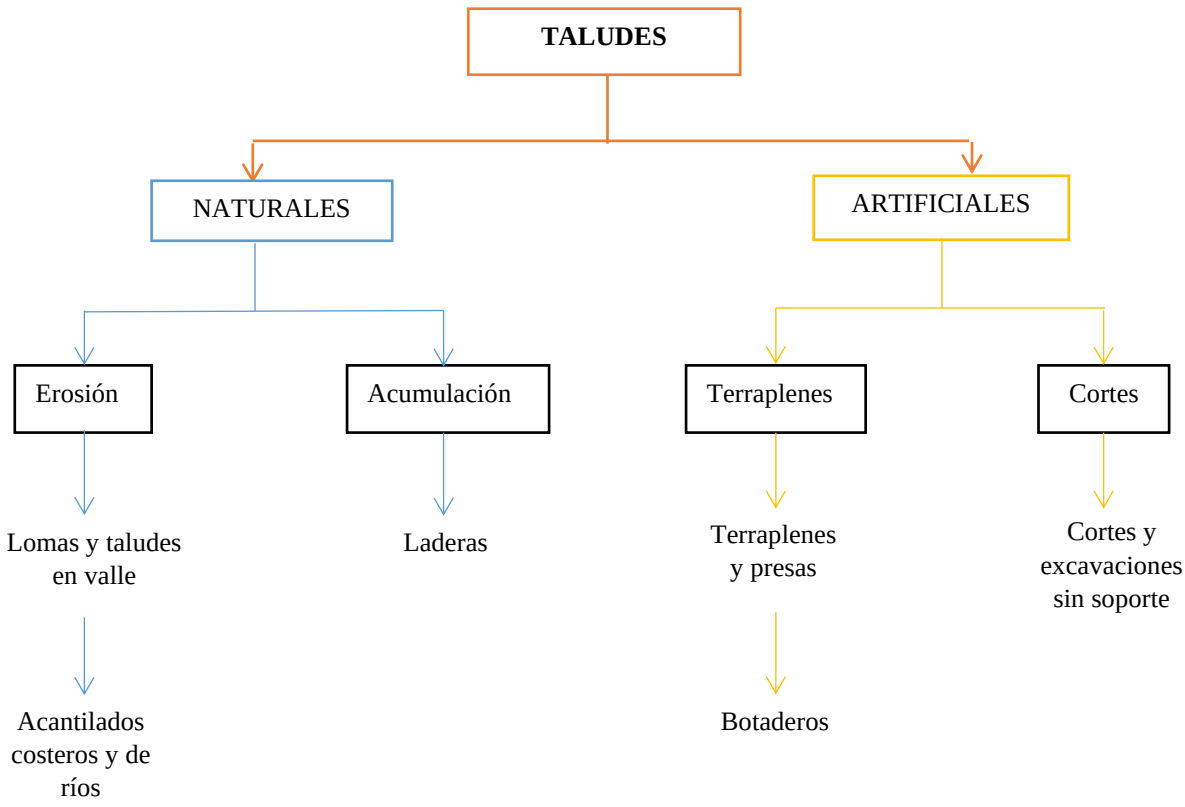
3. CAPÍTULO III: ESTABILIDAD DE TALUDES

En este capítulo es importante mencionar que la Norma Ecuatoriana de la Construcción indica que se deberá realizar un estudio geotécnico preliminar y definitivo, tomar en consideración el estudio de las características geológicas, hidráulicas y de pendiente del terreno local y regional, analizar los efectos de procesos de inestabilidad aledaños o regionales que puedan llegar a afectar el terreno en estudio (Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC, 2014).

3.1. Talud

Se le llama talud sin restricciones a una superficie de suelo expuesto que se sitúa en un ángulo con la horizontal. La pendiente puede ser natural o construida. (Braja M Das, 2015)

Un talud o ladera es una masa de suelo o roca que no es plana sino que posee pendiente o cambios de altura significativos (Suárez Días, 1998).



Esquema 3. Clasificación de taludes
Fuente: (Suárez Días, 1998)

En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente. (Suárez Días, 1998). La inclinación de los taludes naturales se forma a lo largo de

su historia geológica, adoptando dichas posiciones de forma temporal o permanente.

3.2. Elementos de talud

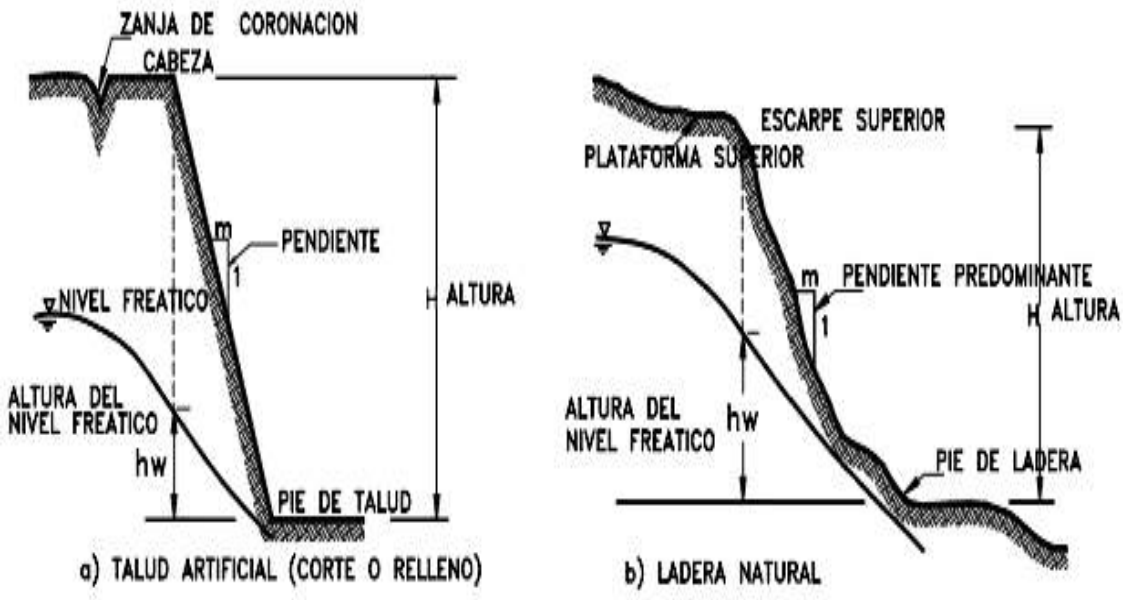


Figura 32. Nomenclatura de taludes y laderas
Fuente: (Suárez Días, 1998, pág. 2)

1. Altura

Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la misma que se puede cuantificar en taludes artificiales con más facilidad a comparación con las laderas naturales debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados (Suárez Días, 1998).

2. Pie

Está ubicado en la parte inferior donde existe cambio brusco de pendiente (Suárez Días, 1998).

3. Cabeza o escarpe

Es el cambio brusco de pendiente en la parte superior (Suárez Días, 1998).

4. Altura de nivel freático

Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza (Suárez Días, 1998).

5. Pendiente

Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, porcentaje o relación (H: V) (Suárez Días, 1998).

3.3. Causas de los deslizamientos

La naturaleza del material que constituye a un talud (roca, suelo natural o relleno, o una combinación de ellos) tiende a deslizarse hacia abajo por la influencia de **fuerzas gravitacionales, actividad sísmica, erosión o flujos**, entre otros, que son resistidos por el esfuerzo cortante del material (Morales Muñoz, 2012).

La inestabilidad ocurre cuando la resistencia al corte no es suficiente para contrarrestar las fuerzas que tienden a provocar el movimiento a lo largo de cualquier superficie del talud (Morales Muñoz, 2012).

Los taludes naturales que se han mantenido estables durante mucho tiempo pueden fallar por una o más de las siguientes razones:

a. Resistencia al esfuerzo cortante

La razón fundamental de la inestabilidad en taludes, se debe a que la resistencia al corte del suelo es menor que la resistencia al corte requerido para el equilibrio (Morales Muñoz, 2012). Esta condición se puede establecer cuando:

Disminución de la resistencia al esfuerzo cortante

- Aumento de la presión de poros (reducción del esfuerzo efectivo)

  Se debe al aumento de agua subterránea y filtraciones, usualmente se presenta en época invernal a causa de las lluvias. La variación de presión de poros depende de la permeabilidad, los cambios son inmediatos cuando el suelo tiene una alta permeabilidad (Morales Muñoz, 2012).
- Aumento de la relación de vacíos

  Se presenta en arcillas muy plásticas susceptibles a expandirse cuando están en contacto con el agua (Morales Muñoz, 2012).
- Desarrollo de planos de deslizamiento

  Se desarrolla en arcillas muy plásticas, las partículas suelen ser alineadas paralelas al plano de deslizamiento (Morales Muñoz, 2012).
- Intemperie

  Las rocas y los suelos están sujetos a perder su resistencia por efecto de la erosión que ocurre gradualmente, involucrando procesos físicos (fragmentan el suelo o roca), químicos y biológicos (cambian las propiedades fundamentales de la materia) (Morales Muñoz, 2012).

Aumento del esfuerzo cortante

- Efectos de cargas en la parte superior del talud

  Cargas adicionales sobre el talud como: colocación de relleno o construcción de alguna infraestructura, aumentando la tensión de corte. Para disminuir el esfuerzo de corte en el talud antes de realizar una obra civil se debe realizar un análisis de estabilidad de taludes (Morales Muñoz, 2012).
- Presión del agua en grietas formadas en la parte superior del talud

  La presión hidrostática provoca el aumento del esfuerzo cortante en las grietas reduciendo la estabilidad, ya que el agua puede llegar a infiltrar el cuerpo del talud (Morales Muñoz, 2012).
- Excavación en la parte inferior del talud

  Puede generar una pendiente más pronunciada con ello un aumento del esfuerzo cortante del suelo (Morales Muñoz, 2012).
- Movimientos sísmicos

  Aceleraciones horizontales y verticales, provocando la variación cíclicos en los esfuerzos internos del talud, causando efectos sumamente graves sobre el talud (Morales Muñoz, 2012).

b. Causas físicas

- Lluvias intensas
- Derretimiento de la nieve
- Precipitación intensa prolongada
- Terremoto
- Erupción volcánica
- Intemperización por congelación y descongelación
- Intemperización por encogimiento e hinchazón
- Inundaciones

Fuente: (USGS , 2008).

c. Causas naturales

Causas geológicas

- Materiales débiles, como algunas laderas volcánicas o sedimentos marinos no consolidados
- Materiales susceptibles
- Materiales intemperizados

- Materiales con cortes
- Materiales con juntas o fisuras
- Discontinuidad
- Permeabilidad
- Contrastes en la firmeza (material firme y denso sobre materiales plásticos).

  Fuente: (USGS , 2008).

Causas morfológicas

- Levantamiento tectónico o volcánico
- Salida repentina del agua (del hielo)
- Erosión fluvial y glacial del extremo de la ladera
- Erosión subterránea
- Eliminación de la vegetación

  Fuente: (USGS , 2008).

d. Causas humanas

- Excavación del talud, recargar el talud (colocar relleno en la parte superior del talud)
- Vaciado y llenado (de embalses), desforestación o siembra de cultivos
- Minería, vibración artificial, por ejemplo pilotes, explosiones u otras vibraciones fuertes del suelo
- Fugas de agua de servicios públicos, como tuberías de agua o desagües, desvío de la corriente de un río

  Fuente: (USGS , 2008).

3.4. Clasificación de los deslizamientos

Clasificación de los deslizamientos de acuerdo al tipo de movimiento

<table>
<tr><td colspan="3">1- Desprendimientos (falls): resultantes de la acción de la gravedad, ocurren con velocidades elevadas.</td></tr>
<tr><td colspan="3">2- Vuelcos (toppling): rotación con basculamiento de placas de material rocoso; causado por la acción de la gravedad o presión de poros en fisuras.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">3- Deslizamientos (slides): Movimientos con superficies de ruptura bien definidas.</td><td rowspan="2">3.1- Rotacionales:
En general ocurren con materiales homogéneos; la masa inestable es considerada
rígida</td><td>3.1.1- Simples: una superficie de ruptura, plana o profunda.</td></tr>
<tr><td>3.1.2- Sucesivos: más de una superficie de ruptura; pueden ser progresivos o retrogresivos.</td></tr>
<tr><td colspan="2">3.2- Traslacionales:
Superficie de ruptura plana, relacionada con zonas de discontinuidades (fallo, contacto suelo/roca, estratificación); movimiento continuo.</td></tr>
<tr><td colspan="3">3.3- Compuestos: ocurren en taludes naturales de suelos no homogéneos, con superficies de ruptura no lineales.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4- Según el movimiento (flows): Movimientos continuos de suelos, rocas y /o detritos con zona de ruptura bien definida; material con comportamiento viscoso.</td><td>4.1- Lentos (creep): También denominados fluencia, ocurre en materiales con comportamiento plástico; movimientos continuos sin superficie de ruptura definida, bajo tensiones totales constantes.</td><td>4.1.1- Plano: profundidad de la masa en movimiento inferior a 5m.
4.1.2- Profundos: profundidad de la masa en movimiento superior a 5m.
4.1.3- Progresivos: movimientos con aceleración gradual con el tiempo
4.1.4- Pos-ruptura: la masa permanece en movimiento después del deslizamiento; movimientos usuales en taludes y materiales coluviales.</td></tr>
<tr><td>4.2- Rápido (corridas): En forma de lengua con prolongamiento en la base; usuales en taludes suaves; material con comportamiento de fluido poco viscoso y bajo condiciones no drenadas.</td><td>4.2.1- Corridas de tierra (flowslides): colapso de estructuras blandas de suelos arenosos y limosos, con aumento de presión de poros debido a vibraciones o saturación.
4.2.2- Corridas de barro (mudflow): movimientos rápidos en suelos blandos sensibles.
4.2.3- Corrida de detritos (debris flow): avalanchas de grandes volúmenes de masas de bloques de roca, suelos y detritos vegetales</td></tr>
<tr><td>5- Complejos: Envuelven varios tipos de movimientos; comunes en laderas inclinadas</td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

Tabla 7. Clasificación de los deslizamientos de acuerdo al tipo de movimiento
Fuente: (Morales Muñoz, 2012).

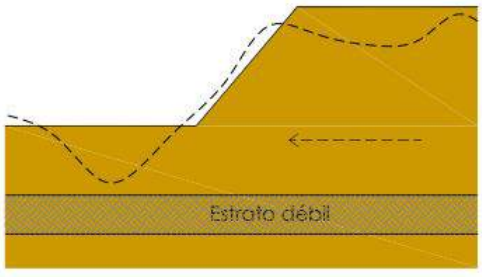


Figura 33. Fallos por traslación sobre un plano débil
Fuente: (Suárez Riestra, 2008, pág. 226)

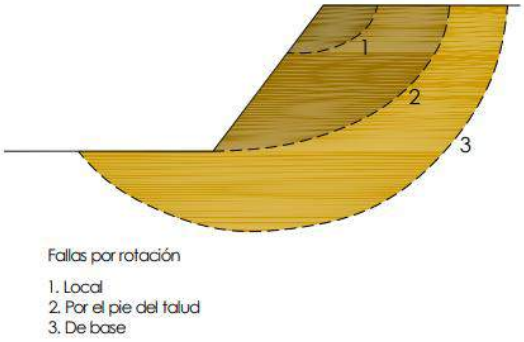


Figura 34. Tipos de fallas por rotación en taludes
Fuente: (Suárez Riestra, 2008, pág. 226)

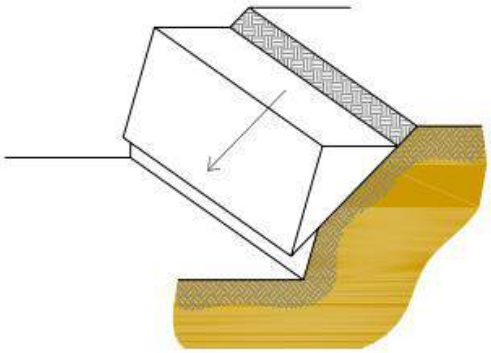


Figura 35. Fallo por rotura plana en taludes
Fuente: (Suárez Riestra, 2008, pág. 225)

Clasificación de los deslizamientos de acuerdo a las condiciones de deformación

Deslizamientos vírgenes	Ocurren en general en materiales inalterados, con parámetros de resistencia asociados a la condición de la curva pico tensión-deformación.
Deslizamientos reactivados	Ocurren con materiales deformados, en superficies pre-existentes, que sufrieron deslizamientos anteriores. La resistencia del material tiende para la condición residual.

Tabla 8. Clasificación de los deslizamientos de acuerdo a las condiciones de deformación
Fuente: (Morales Muñoz, 2012).

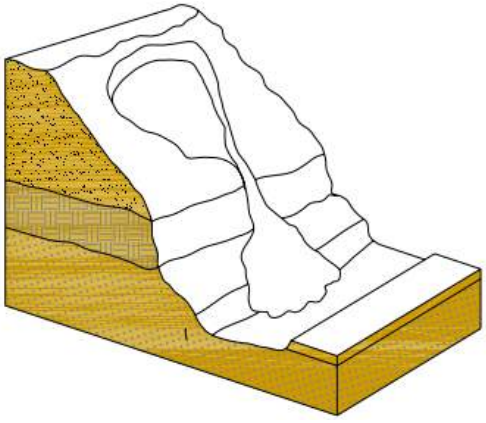


Figura 36. Fallo por rotura por deslizamiento superficial en talud
(Suárez Riestra, 2008, pág. 225)

Clasificación de los deslizamientos de acuerdo a las condiciones de presión de poros

Condiciones drenadas (largo plazo)	Presión de poros asociada a flujo permanente en el material. Disipación total de las presiones de poros generadas por el cizallamiento
Condiciones parcialmente drenadas (plazo intermedio)	Parte de la presión de poros generada por el cizallamiento es disipada.
Condiciones no drenadas (corto plazo)	Materiales con bajo valor de coeficiente de consolidación Cv. Generación de excesos de presión de poros asociados al cizallamiento del material.

Tabla 9. Clasificación de los deslizamientos de acuerdo a las condiciones de presión de poros
Fuente: (Morales Muñoz, 2012).

3.5. Tipos de falla

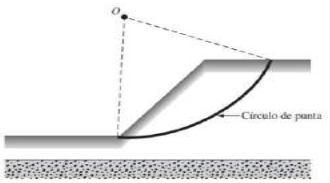
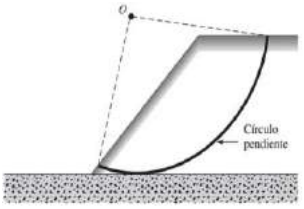
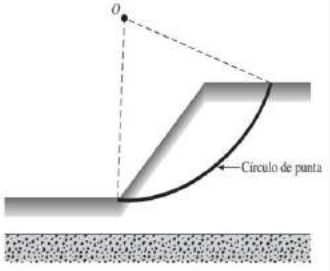
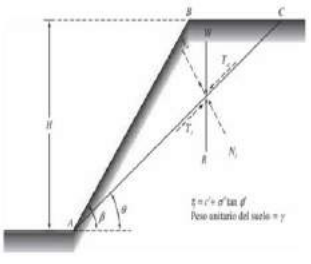
Tipo de falla	Superficie de falla	Descripción	Gráfico
Falla de talud	Círculo punta	El círculo de falla se conoce como círculo de punta, si pasa a través de la punta del talud	
Falla superficial del talud	Círculo del talud	Cuando la falla se produce de tal manera que la superficie de deslizamiento se cruza con el talud en o por encima de su punta, que se denomina falla de talud	
Falla de talud	Círculo del talud	La falla de círculo pendiente pasa por encima de la punta del talud. Bajo ciertas circunstancias es posible tener una falla de talud poco profunda.	
Falla de la base	Círculo de medio punto	Cuando la falla se produce de tal manera que la superficie de deslizamiento pasa a cierta distancia por debajo de la punta del talud, se le llama falla de base. El círculo de falla en el caso de la falla de base se llama círculo de punto medio	
Falla plana	Falla plana	La rotura plana se produce en aquellos taludes donde por determinadas condiciones geológicas o geotécnicas, el deslizamiento de la masa de suelo ocurre a través de una única superficie plana, llamada plano de rotura	

Tabla 10. Tipos de falla de taludes
Fuente: (Braja M, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2015, pág. 344)

3.6. Factor de seguridad

En la mayoría de los casos los ingenieros civiles realizan una serie de cálculos conocido como *análisis de estabilidad del talud* para establecer el factor de seguridad en taludes naturales, taludes de excavaciones y terraplenes compactados, donde se determina y compara el corte desarrollado a lo largo de la superficie de ruptura más probable con la resistencia del suelo al corte (Braja M Das, 2015).

El Factor de Seguridad es empleado para conocer cuál es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña (Suárez Días, 1998).

En la **NEC** se menciona, para seleccionar el factor de seguridad se deberá justificar tomando en cuenta las siguientes características:

- ✓ Magnitud de la obra
- ✓ Las consecuencias de una posible falla en la edificación o sus cimentaciones.
- ✓ La calidad de la información disponible en materia de suelos.

Existen varias definiciones para el factor de seguridad, cada una pudiendo implicar valores diferentes de FS (NEVI-12-MTOP, 2013), las más usuales son:

Equilibrio de momentos: Generalmente se aplica en superficies circulares donde existe un centro de giro, momentos resistentes y actuantes (NEVI-12-MTOP, 2013),

$$F.S. = \frac{Momento\ resistente}{Momento\ actuante}$$

Equilibrio de fuerzas: Aplicado en análisis de movimientos traslacionales o rotacionales, considerándose superficies planas o poligonales (NEVI-12-MTOP, 2013).

$$F.S. = \frac{Fuerzas\ resistentes}{Fuerzas\ activas}$$

El factor de seguridad se empleara para determinar el estado límite de falla y servicio como se menciona a continuación:

- **De falla:** Colapso de taludes o de paredes de excavaciones o del sistema de entibado de las mismas, falla de los cimientos de las construcciones adyacentes y

falla de fondo de la excavación por corte o por supresión en estratos subyacentes, y colapso del techo de cavernas o galerías (Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC, 2014).

- **De servicio:** Movimientos verticales y horizontales inmediatos y diferidos por descarga en el área de excavación y en los alrededores (Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC, 2014).

3.6.1. Factores de seguridad por corte mínimos

Se define Factor de Seguridad por corte, como la relación entre el esfuerzo cortante último resistente o esfuerzo cortante a la falla y esfuerzo cortante actuante (Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC, 2014).

$$FS_{corte} = \frac{\tau_f}{\tau_A} \ (ec. 1)$$

Donde

FS_{corte} : Factor de seguridad con respecto a la resistencia al corte

τ_f: Esfuerzo cortante a la falla

τ_A: Esfuerzo cortante actuante

La resistencia al corte de un suelo consiste de dos componentes, la cohesión y la fricción, el esfuerzo cortante a la falla τ_f se expresa por medio del modelo de falla de materiales según la ley de Mohr-Coulomb.

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi' \ (ec. 2)$$

Donde

τ_f: Esfuerzo cortante a la falla

c´: Cohesión efectiva

ϕ': Ángulo de fricción drenado efectivo

σ: Esfuerzo normal efectivo en la superficie potencial de falla

El esfuerzo normal efectivo, se expresa:

$$\sigma' = \sigma - u$$

Donde

σ': Esfuerzo normal efectivo

σ: Esfuerzo normal total

u: Presión de fluidos o presión de poro

El esfuerzo cortante actuante τ_A como esfuerzo cortante de trabajo o de diseño τ_d, se puede expresar como:

$$\tau_A = c' + \sigma' \tan \phi' / FS_{corte} \quad (ec. 3)$$

Donde

τ_A: Esfuerzo cortante actuante

c': Cohesión efectiva

ϕ': Ángulo de fricción efectivo

σ': Esfuerzo normal efectivo

La NEC plantea el factor de seguridad en función de cargas actuantes en el mismo (Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC, 2014).

Condición **	Fscorte Mínimo	
	Diseño	Construcción
Carga Muerta+Carga Viva Nominal	1.5	1.25
Carga Muerta+ Carga Viva Máxima	1.25	1.1
Carga Muerta+ Carga Viva Nominal + Sismo de diseño Pseudo estático	1.1	1.00 *
Taludes - condición estática y Agua Subterranea Normal	1.5	1.25
Taludes - condición pseudo estática con agua Subterranea Normal y Coeficiente Sísmico de diseño	1.05	1.00 *

Figura 37. Factores de seguridad por corte mínimo
Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC, 2014, pág. 32).

FS adm		Riesgo de pérdidas de vidas humanas		
		despreciable	medio	elevado
Riesgo de pérdidas económicas	despreciable	1,1	1,2	1,4
	medio	1,2	1,3	1,4
	elevado	1,4	1,4	1,5
i) Factores de seguridad para un tiempo de recurrencia de 10 años.				
ii) Para condiciones de riesgos elevados y subsuelo blando, el valor admisible de FS puede ser mayorado en hasta un 10%				

Figura 38. Recomendaciones para factores de seguridad
Fuente: (NEVI-12-MTOP, 2013, pág. 47),

Riesgo de pérdidas de vidas humanas		
despreciable	medio	elevado
FS > 1,1	FS > 1,2	FS > 1,3
Obs.: Factores de seguridad para un tiempo de recurrencia de 10 años.		

Figura 39. Recomendaciones para factores de seguridad
Fuente: (NEVI-12-MTOP, 2013, pág. 47),

3.7. Herramientas matemáticas para el análisis de estabilidad de taludes

Elementos Finitos:

- Consiste analizar los esfuerzos y deformaciones, formula un sistema soluble de ecuaciones para encontrar las cargas límites que puede sostener el suelo, de acuerdo con la forma y la naturaleza de la superficie a lo largo de la cual se produce la falla. (Escobar P & Duque-Escobar, 2017).
- Se obtienen esfuerzos y deformaciones en los nodos de los elementos, pero no se obtiene un factor de seguridad.
- El método tenso-deformación, presenta el inconveniente de requerir, los parámetros de resistencia al corte, módulo elástico y la relación de Poisson (Escobar P & Duque-Escobar, 2017).

Equilibrio Límite

- El análisis de los movimientos de los taludes durante mucho tiempo se ha realizado utilizando las técnicas del equilibrio límite. Este tipo de análisis requiere información sobre la resistencia del suelo, pero no sobre la relación esfuerzo-deformación (Suárez Días, 1998).
- El sistema de equilibrio límite supone que en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla equivalentes a un factor de seguridad de 1.0 (Suárez Días, 1998).
- El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas (Suárez Días, 1998).

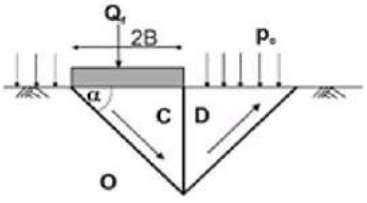


Figura 40. Equilibrio Límite.
Fuente: (Ing. Jorge Albúja, 2021)

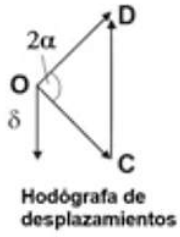


Figura 41. Equilibrio Límite.
Fuente: (Ing. Jorge Albúja, 2021).

ENFOQUE	ANÁLISIS DE EQUILIBRIO LÍMITE	ANÁLSIS DE ELEMENTOS FINITOS
CARACTERÍSTICAS	Bidimensional, Tridimensional (cuña) Masa rígida o semirrígida	Bidimensional, Tridimensional. Material de comportamiento elástico lineal no lineal. Con o sin resistencia a la tracción Con o sin discontinuidades.
DATOS DE ENTRADA	Geometría Modo de falla: Translacional, rotacional, plana, cuña.	Geometría. Campo de esfuerzos natural, roca: E, , c, .
	Parámetros c, : de fluencia, pico, residual. Agua empuje hidrostático, fuerzas de infiltración, presiones neutras.	Discontinuidades: Kn, Ks, dilatancia, c, . Agua: Efecto de las presiones neutras.
RESULTADOS	Factores de seguridad	Campo de esfuerzos, Campos de deslizamiento.
LIMITACIONES	No considera deformaciones.	Por lo general admite únicamente desplazamientos pequeños.

Figura 42. Análisis convencionales en el diseño de taludes
Fuente: (Escobar P & Duque-Escobar, Universidad NacionalL De Colombia, 2017)

3.8. Métodos de análisis de estabilidad de taludes

Los métodos de análisis presentados a continuación utilizan el sistema de equilibrio límite, generalmente los métodos son de iteración con un cierto grado de precisión:

Método	Superficies de falla	Equilibrio	Características
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	De fuerzas	Este método no tiene en cuenta las fuerzas entre las dovelas y no satisface equilibrio de fuerzas, tanto para la masa deslizada como para dovelas individuales. Sin embargo, este método es muy utilizado por su procedimiento simple. Muy impreciso para taludes planos con alta presión de poros. Factores de seguridad bajos.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	De momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobredeterminada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela.
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma de superficie de falla.	De fuerzas	Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. La solución es sobredeterminada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Sin embargo, Janbú utiliza un factor de corrección Fo para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos.
Sueco Modificado. U.S. Army Corps of Engineers (1970)	Cualquier forma de superficie de falla.	De fuerzas	Supone que las fuerzas tienen la misma dirección que la superficie del terreno. Los factores de seguridad son generalmente altos.
Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier forma de superficie de falla.	De fuerzas	Asume que las fuerzas entre partículas están inclinados a un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas. Esta simplificación deja una serie de incógnitas y no satisface el equilibrio de momentos. Se considera el más preciso de los métodos de equilibrio de fuerzas

Tabla 11. Métodos de análisis de estabilidad de taludes
Fuente: (Suárez Días, 1998, pág. 122)

Método	Superficies de falla	Equilibrio	Características
Spencer (1967)	Cualquier forma de superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma de superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado. El método es muy similar al método Spencer con la diferencia que la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas se asume que varía de acuerdo
Sarma (1973)	Cualquier forma de superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que las magnitudes de las fuerzas verticales siguen un sistema predeterminado. Utiliza el método de las dovelas para calcular la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla. Esto permite desarrollar una relación entre el coeficiente sísmico y el factor de seguridad. El factor de seguridad estático corresponde al caso de cero coeficiente sísmico. Satisface todas las condiciones de equilibrio; sin embargo, la superficie de falla correspondiente es muy diferente a la determinada utilizando otros procedimientos más convencionales.
Espiral logarítmica	Espiral logarítmica	Momentos y fuerzas	Existen diferentes métodos con diversas condiciones de equilibrio.

Tabla 12. Métodos de análisis de estabilidad de taludes
Fuente: (Suárez Días, 1998, pág. 122)

Para taludes simples homogéneos se han desarrollado tablas que permiten un cálculo rápido del Fs, existe una variedad de tablas desarrolladas por distintos Autores (Suárez Días, 1998).

Autor	Parámetros	Inclinación del talud	Método analítico utilizado	Observaciones
Taylor (1948)	cu c, φ	0-90° 0-90°	φ = 0 Circulo de fricción	Análisis no drenado. Taludes secos solamente.
Bishop y Morgenstern (1960)	c, φ,ru	11-26.5°	Bishop	Primero en incluir efectos del agua.
Gibsson y Morgenstern (1960)	cu	0-90 °	φ = 0	Análisis no drenado con cero resistencia en la superficie y cu aumenta linealmente con la profundidad.
Spencer (1967)	c, φ,ru	0-34°	Spencer	Círculos de pie solamente.
Janbú (1968)	cu c, φ,ru	0-90°	φ = 0 Janbú GPS	Una serie de tablas para diferentes efectos de movimiento de agua y grietas de tensión.

Hunter y Schuster (1968)	cu	0-90°	φ = 0	Análisis no drenado con una resistencia inicial en la superficie y cu aumenta linealmente con la profundidad.
Chen y Giger (1971)	c, φ	20-90°	Análisis límite	
O´Connor y Mitchell (1977)	c, φ,ru	11-26°	Bishop	Bishop y Morgenstern (1960) extendido para incluir Nc = 0.1
Hoek y Bray (1977)	c, φ	0-90° 0-90°	Círculo de fricción Cuña	Incluye agua subterránea y grietas de tensión. Análisis de bloque en tres dimensiones.
Cousins (1978)	c, φ	0-45°	Círculo de fricción	Extensión del método de Taylor (1948).
Charles y Soares (1984)	φ	26-63°	Bishop	Envolvente de falla no lineal de Mohr-Coulomb.
Barnes (1991)	c, φ, ru	11-63°	Bishop	Extensión de Bishop y Morgenstern (1960) para un rango mayor de ángulos del talud.

Tabla 13. Listado de tablas para cálculo de estabilidad de taludes disponibles en la literatura
Fuente: (Suárez Días, 1998, pág. 124)

3.9. Formas de localizar las superficies de falla

- Geométricamente:

  Utilizando la topografía superficial se puede determinar en forma aproximada con un margen grande de error, la localización de la superficie de falla (Suárez Días, 1998).

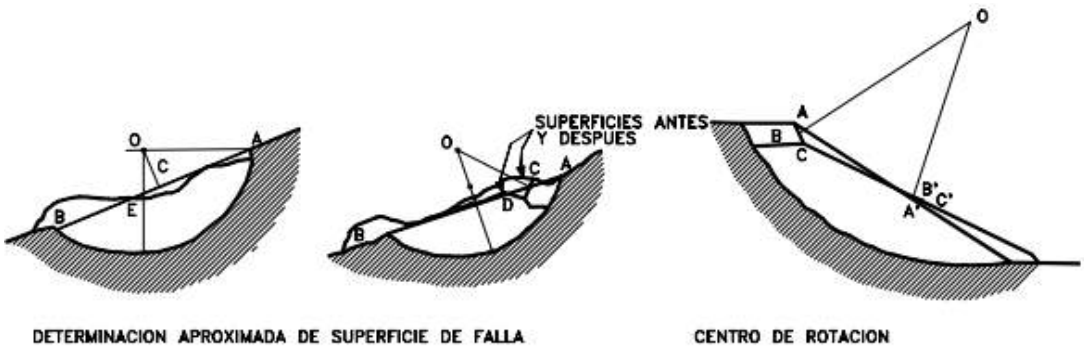


Figura 43. Esquemas de determinación de las superficies de falla
Fuente: (Suárez Días, 1998, pág. 77)

- Ensayos de penetración:

  La superficie de falla está ubicada a una profundidad donde la resistencia del suelo disminuye, por esta razón la resistencia a la penetración es menor, disminuyendo el número de golpes en el ensayo de penetración estándar (Suárez Días, 1998).

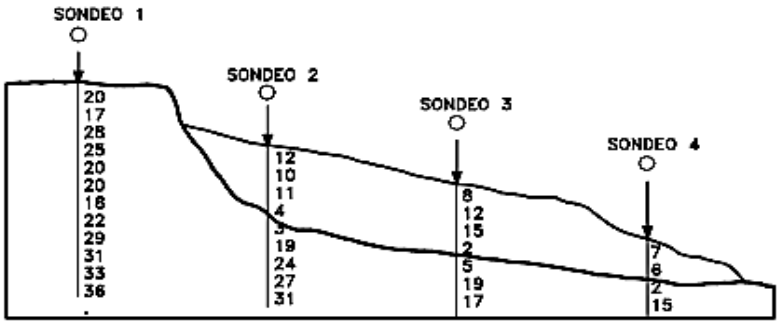


Figura 44. Ensayos de penetración estándar
Fuente: (Suárez Días, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas tropicales, 1998, pág. 77)

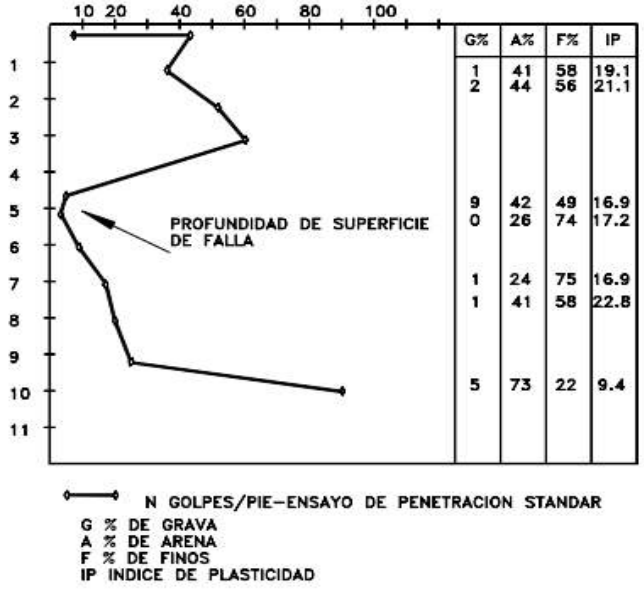


Figura 45. Ensayos de penetración estándar
Fuente: (Suárez Días, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas tropicales, 1998, pág. 78)

3.10. Métodos de conservación para taludes con técnicas de bioingeniería

Recubrimiento vegetal

La vegetación tiene efectos positivos sobre los taludes, ya que permite evitar problemas de erosión, reptación y fallas subsuperficiales. Principalmente cumple dos funciones: tiende a determinar el contenido de agua en la superficie y la consistencia que brinda al suelo por el entramado mecánico de sus raíces (Suárez Días, 1998).

La característica más importante, es la protección contra la erosión, la vegetación con mayor densidad de follaje amortigua el golpe de la precipitación y minimiza la los efectos erosivos del agua de escorrentía (Suárez Días, 1998).

Los factores más importantes que se deben analizar son:

- El tipo de vegetación, tanto en el talud como en el área arriba del talud (Suárez Días, 1998).

- Volumen y densidad de follaje, tamaño, ángulo de inclinación y aspereza de las hojas (Suárez Días, 1998).
- Altura total de la cobertura vegetal, presencia de diferentes capas de cobertura vegetal, tipo, forma, profundidad, diámetro, densidad, cubrimiento y resistencia del sistema de raíces (Suárez Días, 1998).

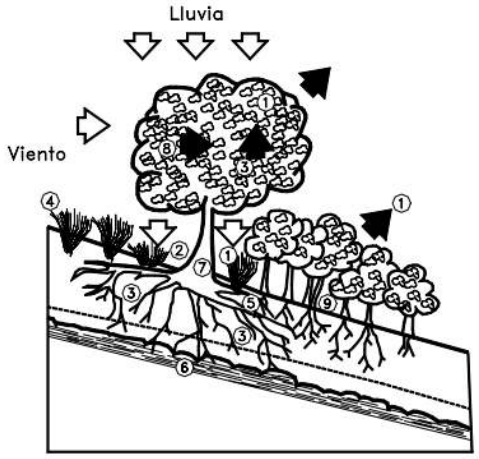


Figura 46. Efectos de la vegetación sobre la estabilidad de una ladera.
Fuente: (Suárez Días, 1998, pág. 276)

Parte de la planta	Función
Raíz	Anclaje, absorción, conducción y acumulación de líquidos.
Tallo	Soporte, conducción y producción de nuevos tejidos.
Hojas	Fotosíntesis, transpiración

Figura 47. Componentes de la planta y sus funciones
Fuente: (Suárez Días, 1998, pág. 277)

- Siembra de distintos tipos de vegetación
- Evita la erosión superficial, para taludes con una inclinación de hasta 35°
- Hidrosiembra (herbáceas o leñosas)

(Gobierno de España - Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación , 2020).

Refuerzo con raíces de plantas

Las raíces refuerzan la estructura del suelo, actúan como anclajes en las discontinuidades y cumplen con la función de absorber altas cantidades de agua (Suárez Días, 1998).

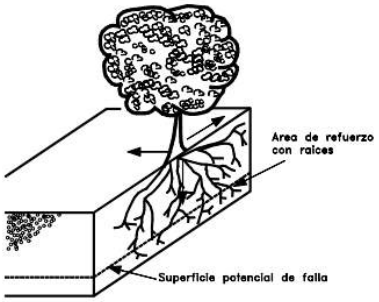


Figura 48. Refuerzo de superficie de falla por las raíces de los árboles.
Fuente: (Suárez Días, 1998, pág. 288)

Efecto de las raíces sobre la resistencia del suelo

- Forma una red densa entretejida en los primeros 30 a 50 centímetros de suelo, reforzando la masa de suelo más superficial (Suárez Días, 1998).
- Las raíces individuales actúan como anclajes que estabilizan los arcos de suelo que se extienden a través del talud (Suárez Días, 1998).
- La resistencia a la tensión de las raíces puede ser hasta el 30% de la del acero, pueden extenderse varios metros por debajo de la superficie del talud (Suárez Días, 1998).

Mantas orgánicas (coco, yute y sintéticas)

La estabilización de taludes por el uso combinado de vegetación y elementos estructurales, se conoce como estabilización *Biotecnológica de taludes,* tomando en cuenta parámetros ambientales muy importantes con una excelente efectividad (Gray & Leiser, 1982).

La aplicación de mantos orgánicos o sintéticos junto con la vegetación en taludes, conforman una protección integral contra la erosión. Por lo general, estos productos se desintegran después de que las plantas crecen y se establecen permanentemente (Suárez Días, 1998).

Las mantas orgánicas protegen a la superficie del talud de la erosión, reteniendo la capa superficial favoreciendo en el desarrollo de vegetación y enraizamiento (Gobierno de España - Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación , 2020).

Las mantas que son de yute tienen un tiempo de aproximadamente un año de vida, la fibra de coco es resistente para pendientes más pronunciadas o para superficies que tengan fuertes problemas de erosión se descompone aproximadamente en dos años (Gobierno de España - Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación , 2020).

Son materiales constituidos por un entre cosido de mallas y fibras naturales o sintéticas. Se utilizan para el control de la erosión superficial, como soporte de suelos, de siembras o hidrosiembra, ayudando a mejorar el establecimiento y enraizamiento vegetal (Universidad de Córdoba. Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC. Paisajes del Sur SL/ Bonterra Ibérica, SL., 2014).

Material	*Duración*	*Tipo de superficies*
Mantas con mallas y fibras de (paja)	Baja	Superficies con problemas de erosión ligeros y de cierta facilidad para la implantación vegetal.
Mantas con mallas y fibras de (coco y paja)	Intermedia	Terrenos con riesgo medio de erosión y situaciones intermedias de dificultad para la implantación vegetal.
Mantas con mallas y fibras de (coco, esparto u otras)	Alta	Para pendientes muy acentuada, con grandes riesgos de erosión y de gran dificultad para restauración vegetal

Tabla 14. Mantas orgánicas
Fuente. (Universidad de Córdoba. Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC. Paisajes del Sur SL/ Bonterra Ibérica, SL., 2014).

4. CAPÍTULO IV: PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA

4.1. Precipitación

La precipitación es la caída de agua meteórica, sea en forma líquida (lluvia) o sólida (nieve o granizo), este podría ser el fenómeno hidrológico y meteorológico más importante para el diseño de obras hidráulicas, administración de ecosistemas y recursos (Ing. Lozano Rivas, 2018)**.**

- ✓ Precipitación Total: Es la altura total de agua de lluvia medida por medio de métodos confiables (Ing. Lozano Rivas, 2018).
- ✓ Precipitación efectiva o neta: Es la fracción de precipitación que provoca la escorrentía, la otra cantidad de agua se infiltra o evapotranspira (Ing. Lozano Rivas, 2018).

4.2. Formación de la precipitación

Para que se forme la precipitación se considera:

a) Existencia de vapor de agua en la atmósfera

El vapor de agua siempre está en la atmósfera como humedad, aún en días sin nubes o secos (Ing. Lozano Rivas, 2018).

b) Presencia de núcleos de condensación: Higroscópicos o de Aitken

Son partículas en suspensión que se originan del ascenso de polvo desde la litósfera, son de origen inorgánico, de dimensiones de 0,1 y 10 µm de diámetro y permiten la condensación del vapor de agua formando gotas (Ing. Lozano Rivas, 2018).

c) Enfriamiento de masa de aire

Se produce por el ascenso de las masas de aire a causa de sistemas convergentes o ciclónicos y convectivos, producto del calentamiento desigual de la superficie terrestre (Ing. Lozano Rivas, 2018).

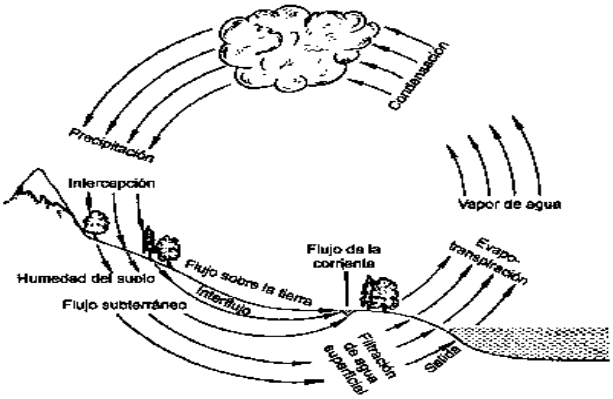


Figura 49. Diagrama simplificado del ciclo hidrológico
Fuente: (Ward & Robinson, 1990, pág. 52)

Cuando en una masa de aire existe la presencia de núcleos higroscópicos de condensación, vapor de agua y enfriamiento que permita condensar el vapor alrededor de estos núcleos, se producirá la precipitación (Ing. Lozano Rivas, 2018).

4.3. Tipos de hidrometeoros

HIDROMETEORO	TAMAÑO	CARACTERÍSTICAS
Lluvia	0,5 mm - 6,0 mm	Son gotas de agua en estado líquido, descienden a velocidades superiores a los 2 m/s (Ing. Lozano Rivas, 2018). La lluvia puede ser ligera si tiene una intensidad no superior a 2,5 mm/h, moderada si se encuentra entre 2,5 y 7,5 mm/h y fuerte si sobrepasa los 7,5 mm/h (Ing. Lozano Rivas, 2018).
Llovizna	< 0,5 mm	Es similar a la lluvia, sus gotas son muy dispersas y pueden estar antes o después de la lluvia (Ing. Lozano Rivas, 2018).
Chubasco o aguacero	-	Están en estado líquido o sólido, tienen duración corta y variación de intensidad (Ing. Lozano Rivas, 2018).
Granizo	5 - 50 mm	Son formados al interior de las nubes, tiene formas variadas pueden ser esféricas o irregulares (Ing. Lozano Rivas, 2018).
Rocío	-	Son gotas de agua que se condensan sobre superficies frías, a partir del vapor contenido en el aire circundante (Ing. Lozano Rivas, 2018).
Nieve	-	Es una agrupación de cristales de agua (Ing. Lozano Rivas, 2018).
Agua nieve	-	Es nieve en estado de fusión o una combinación de nieve y lluvia (Ing. Lozano Rivas, 2018).
Neviza	-	Corresponde a nieve granulada que se compacta por el cambio de temperatura, formando el estado de transición al hielo glaciar (Ing. Lozano Rivas, 2018).
Escarcha	-	Son pequeños cristales de hielo con forma de escamas o agujas, formados a partir de la condensación del vapor de agua del aire (Ing. Lozano Rivas, 2018).

Tabla 15. Tipos de hidrometeoros
Fuente: (Ing. Lozano Rivas, 2018)

4.4. Aparatos de medida

4.4.1. Pluviómetro

Es un aparato que sirve para medir la altura de las aguas lluvias. Tiene un diámetro 16 cm a una distancia de 1,5 metros de altura con respecto al suelo, se asume una distribución horizontal homogénea de precipitación sobre el área (Ing. Lozano Rivas, 2018).



Fotografía 5. Pluviómetro (2006). Carrión de los Céspedes, España.
Fuente: (Ing. Lozano Rivas, 2018, pág. 301)

4.4.2. Pluviógrafo

Se utilizan los pluviógrafos cuando se necesitan registros continuos de las precipitaciones (Ing. Lozano Rivas, 2018).

- ✓ Pluviógrafo de balanza: Las aguas se recolectan en un recipiente que el peso mueve un dispositivo conectado a un registrador (Ing. Lozano Rivas, 2018).
- ✓ Pluviógrafo de flotador: Es casi parecido al pluviógrafo de balanza, con la diferencia que el nivel del agua mueve un flotador conectado al registro (Ing. Lozano Rivas, 2018).



Fotografía 6. Pluviógrafo de flotador
Fuente: (Ing. Lozano Rivas, 2018, pág. 306)

- ✓ Pluviógrafo de cubeta basculante: La lluvia se almacena en dos cubetas contiguas en un pivote que se van llenado y vaciando alternadamente por el mismo peso del agua, el movimiento está conectado a un circuito eléctrico (Ing. Lozano Rivas, 2018).



Fotografía 7. Pluviógrafo de cubeta basculante. Detalle del pivote que soporta el mecanismo y el circuito eléctrico (2005)
Fuente: (Ing. Lozano Rivas, 2018, pág. 305)

4.4.3. Unidades de medida

La altura de agua se mide en milímetros (mm), una precipitación de un milímetro equivale a un volumen de 10 m^3/ha, en hielo o granizo equivale a la altura de la capa de agua formada una vez que se derrita (Ing. Lozano Rivas, 2018).

4.5. Infiltración

La infiltración se define como el movimiento del agua desde la superficie del terreno hacia el suelo o roca por los poros o intersticios y discontinuidades de la masa térrea (Suárez Días, 1998).

El porcentaje de infiltración corresponde a la proporción de lluvia que se infiltra, puede dividirse entre aquella parte que contribuye a aumentar el contenido de agua de la zona no saturada y aquella que recarga el sistema saturado de agua subterránea (Suárez Días, 1998).

La lluvia sobre la superficie de la tierra puede conducir a dos condiciones diferentes de frontera:

a. **Superficie del talud inundada:** La intensidad de la lluvia en este caso es mayor que la cantidad de agua que puede infiltrarse dentro de la tierra. Por lo

tanto, solamente parte de la lluvia se infiltra y el resto se convierte en escorrentía (Suárez Días, 1998).

En este caso, la condición de frontera es que la succión en la superficie del terreno es igual a 0 equivalente a saturación del 100% (Suárez Días, 1998).

b. Infiltración controlada: La intensidad de la lluvia es menor que el flujo máximo de agua que se puede infiltrar en el talud (Suárez Días, 1998).

En este caso, la infiltración es controlada por la intensidad de la lluvia:

Q infiltración = Intensidad de la lluvia.

La infiltración se produce por distintos factores:

1. Cantidad, intensidad y tipo de precipitación (Suárez Días, 1998).

2. Ritmo de precipitación: Cuanto más rápidamente cae la lluvia, menos agua penetra, pues se satura la superficie del terreno y no permite la infiltración rápida. Entre más lenta la lluvia, habrá más infiltración y menos escorrentía (Suárez Días, 1998).

3. Pendiente superficial: La infiltración es mayor en terrenos más planos a los que corresponde velocidades de escurrimiento superficial menores (Suárez Días, 1998).

4. La permeabilidad de los suelos y las rocas (Suárez Días, 1998).

6. Cantidad y tipo de vegetación

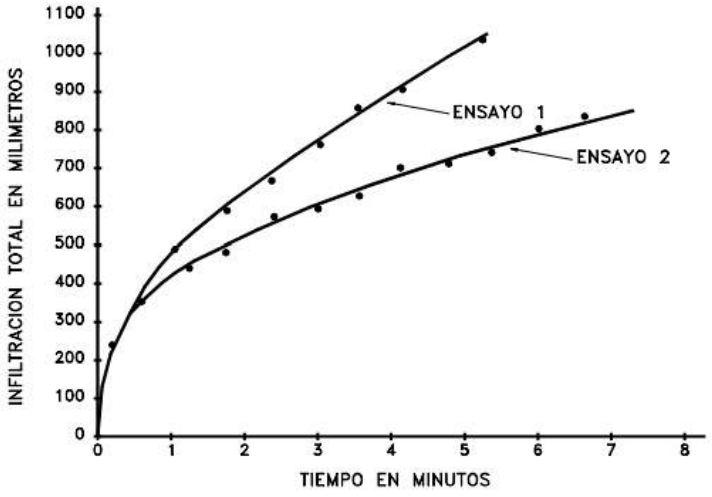


Figura 50. Resultados típicos de un ensayo de infiltración (Geotechnical Control Office 1979).
Fuente: (Suárez Días, 1998, pág. 238).

4.6. Escorrentía o agua superficial

Es toda cantidad de agua proveniente de las precipitaciones que alimentan las corrientes superficiales. Cuanto más pronunciadas, impermeables y desprovistas de vegetación son las laderas es probable que la mayor parte se convierta en escorrentía. Este fenómeno natural puede formar surcos o cárcavas de erosión en la superficie (Suárez Días, 1998).

Para medir la proporción de precipitación que fluye sobre una superficie se calcula el coeficiente de escorrentía. Para determinar la cantidad de escorrentía se debe calcular la cantidad de agua disponible después de una lluvia tomando en cuenta las características del terreno, cobertura vegetal e infiltración (Suárez Días, 1998).

4.6.1. Tipos de escorrentía

a) Escorrentía superficial o directa

Al terminar la precipitación existe una cantidad de agua que no logra ser infiltrada la cual se escurre generalmente hasta redes de drenaje por acción de la gravedad, pero cuando permeabilidad y la infiltración del suelo es inferior a la capacidad de la intensidad de lluvia se forma una lámina de agua sobre el terreno que tiene movimiento sobre la superficie (Juncosa, 2005).

b) Escorrentía Hipodérmica o subsuperficial

Es agua que se mueve subhorizontalmente una vez que se infiltra en el suelo y que reaparece como manantiales o con la red de drenaje (Juncosa, 2005).

c) Escorrentía subterránea

Es la cantidad de lluvia que se infiltra hasta el nivel freático hasta alcanzar la red de drenaje (Juncosa, 2005).

Es importante mencionar que la escorrentía superficial es la más rápida que la escorrentía subterránea (Juncosa, 2005).

Ciclo de la escorrentía

Primera fase: Período sin precipitaciones.

La evapotranspiración tiende a agotar la humedad en las capas superficiales y a extraer agua de las aguas subterráneas alimentando a las corrientes superficiales (Juncosa, 2005).

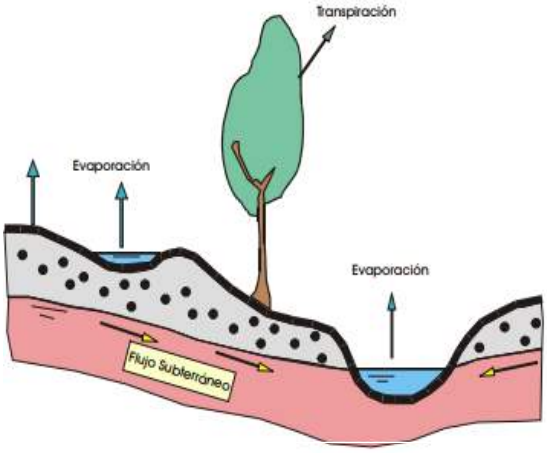


Figura 51. Ciclo de Escorrentía. 1ª fase.
Fuente: (Juncosa, 2005, pág. 67)

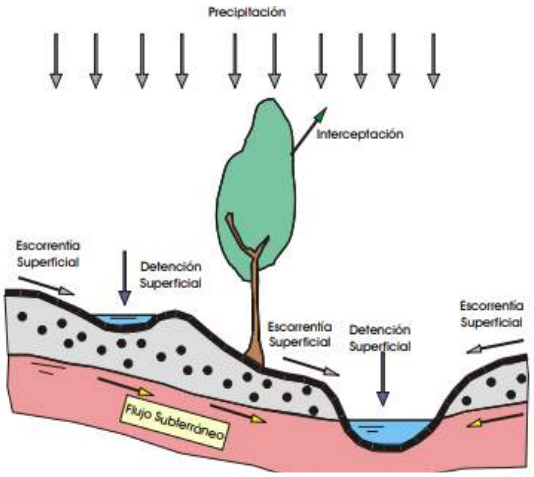


Figura 53. Ciclo de Escorrentía. 2ª fase.
Fuente: (Juncosa, 2005, pág. 67)

Segunda fase: Iniciación de la Precipitación.

Las aguas lluvias son obstruidas por la vegetación, superficies de agua y el suelo, se infiltra una cantidad, el excedente se mueve superficialmente como Escorrentía Directa que alimenta los cursos de agua (Juncosa, 2005).

Tercera fase: Precipitación máxima.

Después de un lapso de la lluvia, la cubierta vegetal apenas intercepta agua las capas superficiales del suelo están saturadas, las precipitaciones se infiltran, alimentando a la Escorrentía Hipodérmica y a los acuíferos (Juncosa, 2005).

La Precipitación que no se infiltra produce escorrentía superficial alcanzando su máximo valor, la escorrentía subterránea aumenta y la escorrentía total alcanza su máximo apareciendo las crecidas (Juncosa,

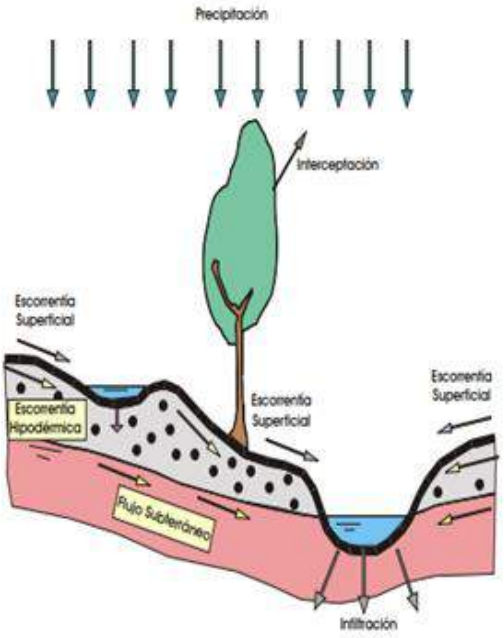
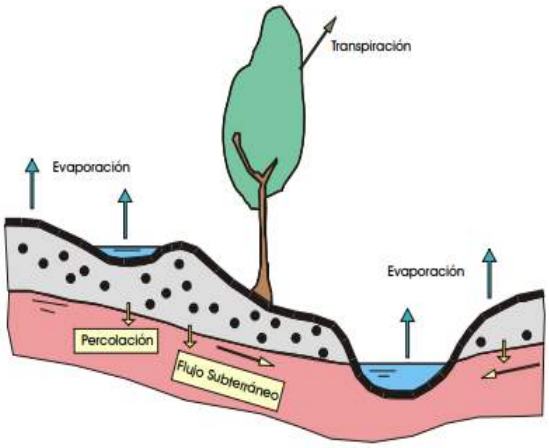


Figura 52. Ciclo de Escorrentía. 3ª fase.
Fuente: (Juncosa, 2005, pág. 68)



Cuarta fase: Posterior a la Precipitación.

La precipitación continúa y la escorrentía superficial desaparece rápidamente, el suelo y subsuelo se encuentran saturados aumentando la humedad del suelo y a las aguas subterráneas, entra en una etapa de decrecida (Juncosa, 2005).

Figura 54. Esquema del Ciclo de Escorrentía.4ª fase.
Fuente: (Juncosa, 2005, pág. 68)

4.6.2. Factores que condicionan la escorrentía

FACTORES	DESCRIPCIÓN
Meteorológicos	Son las precipitaciones, vientos y temperatura, los factores como duración, intensidad y frecuencia tienen una gran influencia en la escorrentía. La temperatura es representativa de las pérdidas de evaporación (Juncosa, 2005).
Geográficos	Es la localización geográfica (latitud, longitud y altitud) de la cuenca y su morfología (pendientes,, el perfil de los cursos de agua, entre otros) (Juncosa, 2005)
Hidrogeológicos	Comprenden fundamentalmente la permeabilidad de los terrenos y la profundidad de las capas freáticas (Juncosa, 2005).
Biológicos	Los factores biológicos comprenden fundamentalmente la cubierta vegetal y la acción humana (Juncosa, 2005).

Tabla 16. Factores que condicionan la escorrentía
Fuente: (Juncosa, 2005)

4.6.3. Cálculo de la escorrentía

La escorrentía se concentra en las corrientes de agua, las cuales pueden formar surcos o cárcavas de erosión. Para cuantificar la cantidad de escorrentía que llega a

un punto determinado, se debe calcular la cantidad de agua disponible después de una lluvia, teniendo en cuenta las características de la superficie del terreno, cobertura vegetal e infiltración (Suárez Días, 1998).

a. Estimación de la Escorrentía a partir de los datos de aforos

Es un método sencillo donde el caudal aforado en un determinado punto del cauce de un río constituye la escorrentía total del área de recepción de la cuenca (Juncosa, 2005).

Para calcular la escorrentía superficial hay que sustraer del caudal aforado el valor mínimo aforado en la época estival del año hidrológico (Juncosa, 2005).

b. Estimación de la Escorrentía a partir de la determinación del coeficiente de escorrentía

El coeficiente o porcentaje de escorrentía mide la proporción de la lluvia total que fluye superficialmente, indica la cantidad de lluvia que cae en una determinada área (Suárez Días, 1998).

- Estimación mediante formulas

El coeficiente de escorrentía expresa la relación existente entre la Escorrentía Superficial o precipitación neta y la precipitación total, el coeficiente es variable con el tiempo y el espacio en una cuenca tomando los valores medios (Juncosa, 2005).

$$C = \frac{\Delta P_n}{\Delta P}$$

Dónde:

Pn = Es la escorrentía superficial

P = Precipitación total

C = Coeficiente de escorrentía

- Estimación mediante tablas

Cuando no se dispone de datos suficientes se puede aplicar este método para determinar la lluvia neta, en caso de que las características de la cuenca difieran (diversos tipos de suelo o vegetación), se debe hacer una media ponderada de los coeficientes de escorrentía en función de las áreas de cada zona (Juncosa, 2005).

Tabla de Prevert

Uso del suelo	Pendiente (%)	Textura del suelo		
		Arenoso – limoso Limoso - arenoso	Limoso Limoso - arenoso	Arcilloso
Bosque	0 – 5	0.10	0.30	0.40
	5 – 10	0.25	0.35	0.50
	10 – 30	0.30	0.40	0.60
	>30	0.32	0.42	0.63
Pastizal	0 – 5	0.15	0.35	0.45
	5 – 10	0.30	0.40	0.55
	10 – 30	0.35	0.45	0.65
	>30	0.37	0.47	0.68
Cultivo agrícola	0 – 5	0.30	0.50	0.60
	5 – 10	0.40	0.66	0.70
	10 – 30	0.50	0.70	0.80
	>30	0.53	0.74	0.84

Figura 55. Tabla de Prevert (1986).
Fuente: (Juncosa, 2005, pág. 71)

Fórmula de Nadal

$$C = 0{,}25 \text{ x } K_1 \text{ x } K_2 \text{ x } K_3$$

Dónde:

K_1 = factor de la extensión de la cuenca.

K_2 = factor de la lluvia media anual.

K_3 = factor de la pendiente y de la permeabilidad del suelo.

Extensión		Lluvia media anual		Características	
Km^2	K_1	mm	K_2	Cuenca	K_3
10	2.60	200	0.25	Llana y permeable	0.5 – 0.7
20	2.45	300	0.50	Ondulada	0.5 – 1.2
40	2.15	400	0.75	Montañosa e impermeable	1.2 – 1.5
100	1.80	500	1.0		
200	1.70	600	1.1		
500	1.40	700	1.17		
1000	1.30	800	1.25		
5000	1.0	900	1.32		
10000	0.90	1000	1.40		
20000	0.87	1200	1.50		

Figura 56. Factores para la fórmula de Nadal (1986).
Fuente (Juncosa, 2005, pág. 72)

Fórmula de Keler

Aplicable para P > 500 mm

$$C = a - \frac{b}{P}$$

Dónde:

a = Coeficiente que oscila entre 0.88 y 1. Para cuencas torrenciales se aconseja emplear el valor máximo.

b = Coeficiente que varía entre 350 y 460. En el caso de cuencas torrenciales debe emplearse el valor mínimo.

P = Precipitación anual o módulo pluviométrico.

5. CAPÍTULO V: EROSIÓN

5.1. Erosión

La erosión es un proceso natural que modifica y desgasta las propiedades del suelo y rocas, debido a causas geológicas exógenas como el agua, viento o actividad biótica (deforestación, construcción, entre otros.). Por esta razón se origina la degradación en el suelo, estos cambios se producen por la remoción y alteración del equilibrio dinámico del suelo provocado por alteraciones naturales o antrópicas (Andrade Limas, Espinoza Ramírez , Rivera Ortiz, & Romero Díaz, 2011).

5.1.1. Proceso hidrogeoquímico de erosión

El problema de la erosión es producido por las fuerzas que se generan en la superficie del suelo, debido a la influencia de la geometría y localización de las partículas. Las partículas de suelo son separadas entre sí por fuerzas electroquímicas por las propiedades químicas del agua y suelo (Suárez Días, 2001).

La formación de pequeños grupos de partículas que se desprenden independientemente son conocidos como “seudogranos”, estos provocan un comportamiento erosivo semigranular en algunos suelos cohesivos, para después desmoronarse dentro de la corriente de agua (Suárez Días, 2001). Son un caso muy común en suelos residuales (producto de la meteorización de rocas de composición arenoarcillosa, con presencia de pequeños porcentajes de arcilla) (Suárez Días, 2001).

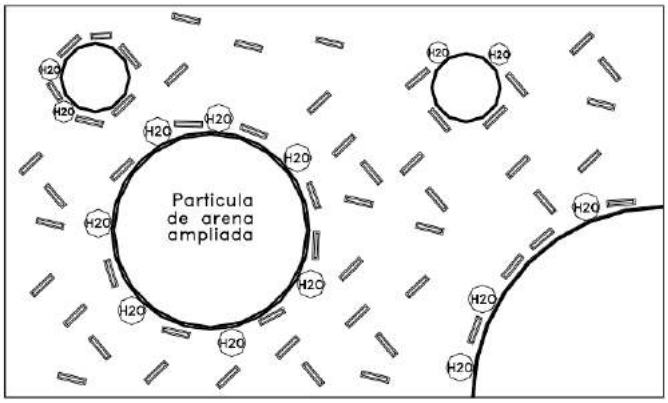


Figura 57. En suelos mixtos existen fuerzas de repulsión entre las partículas de arcilla y de arena. Fuente: (Suárez Días, 2001, pág. 265).

Se ha observado en el microscopio, que las partículas de arena y grava generalmente, están cubiertas por una microcapa delgada de arcilla. Esta microcapa se hidrata en los procesos de humedecimiento y las partículas granulares quedan

prácticamente sueltas, a pesar de que se mantiene una cementación interna dentro de la matriz (Suárez Días, 2001).

El proceso de hidratación es diferencial y se observa que es mayor en el contacto de la matriz con las partículas granulares. Los cementantes entre las particulas, han sido en ocasiones identificados como Illita y Montmorillonita (Suárez Días, 2001).

5.1.2. Erosionabilidad

Es la capacidad de un suelo a erosionarse conocido como "erosionabilidad", sufriendo alteraciones en sus propiedades causadas por el agua, de manera que las partículas de suelo pueden ser desprendidas y transportadas provocando inestabilidad o socavación interna en el talud (Suárez Días, 1998).

Erosionabilidad en suelos no cohesivos

Los suelos no cohesivos son aquellos que poseen menos del 10 % de partículas de arcilla, tienen una estructura granular y no forman una masa coherente. El comportamiento a la erosión depende principalmente, del tamaño y forma de las partículas (Suárez Días, 2001).

Las partículas finas son erosionadas por el flujo mientras que las gruesas permanecen dependiendo de la fuerza tractiva de la corriente. Una partícula que se encuentra totalmente expuesta mayor posibilidad de ser erosionada que una que se encuentra enterrada hasta la mitad de su diámetro (Suárez Días, 2001).

5.2. Afección de la erosión en taludes

- **Pérdidas de suelo:** El fenómeno de la erosión produce pérdida de partículas en taludes, provocando alteraciones ambientales y estructurales. En cuanto la erosión se incrementa, aumentan la dificultad para restaurar o brindar un mantenimiento en el talud o ladera (Universidad de Córdoba. Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC. Paisajes del Sur SL/ Bonterra Ibérica, SL., 2014).
- **Producción de sedimentos:**

  Los sedimentos son provocados por la ***escorrentía***, el arrastre de agua, recorren por el cuerpo del talud hasta llegar al pie, esto puede producir:

  Dificultad en el mantenimiento de cunetas y restauración de áreas aledañas afectadas, contaminación de las aguas superficiales, taponamiento de alcantarillas y cunetas (Universidad de Córdoba. Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC. Paisajes del Sur SL/ Bonterra Ibérica, SL., 2014).

❖ **Deterioro del talud:**

En suelos saturados, la presión de poros aumenta en los taludes en temporadas de lluvias, disminuyendo los esfuerzos normales efectivos entre las partículas, separándolas y por ende disminuyendo la resistencia a la fricción. Provocando deslizamientos, regueros o cárcavas que deterioran a la masa del talud (Universidad de Córdoba. Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC. Paisajes del Sur SL/ Bonterra Ibérica, SL., 2014).

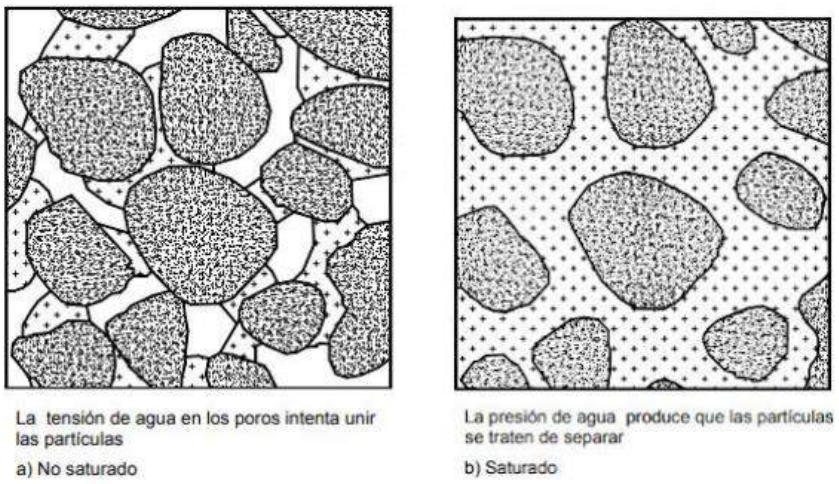


Figura 58. La presión de poros trata de separar las partículas y de esta forma, se disminuye la resistencia a la fricción
Fuente (Ingeotec, 2018)

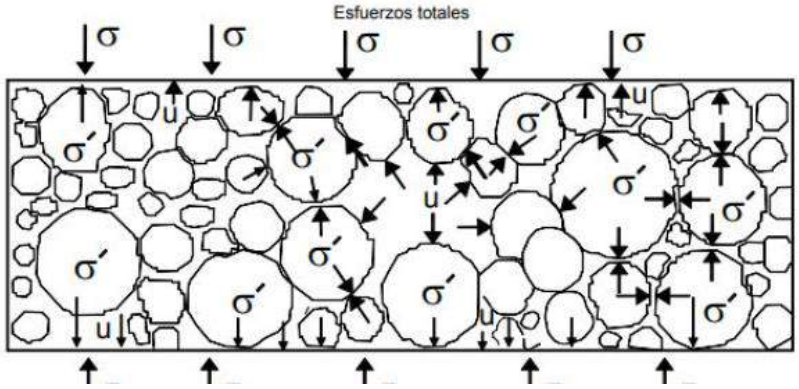


Figura 59. Esfuerzos totales y efectivos
Fuente (Ingeotec, 2018)

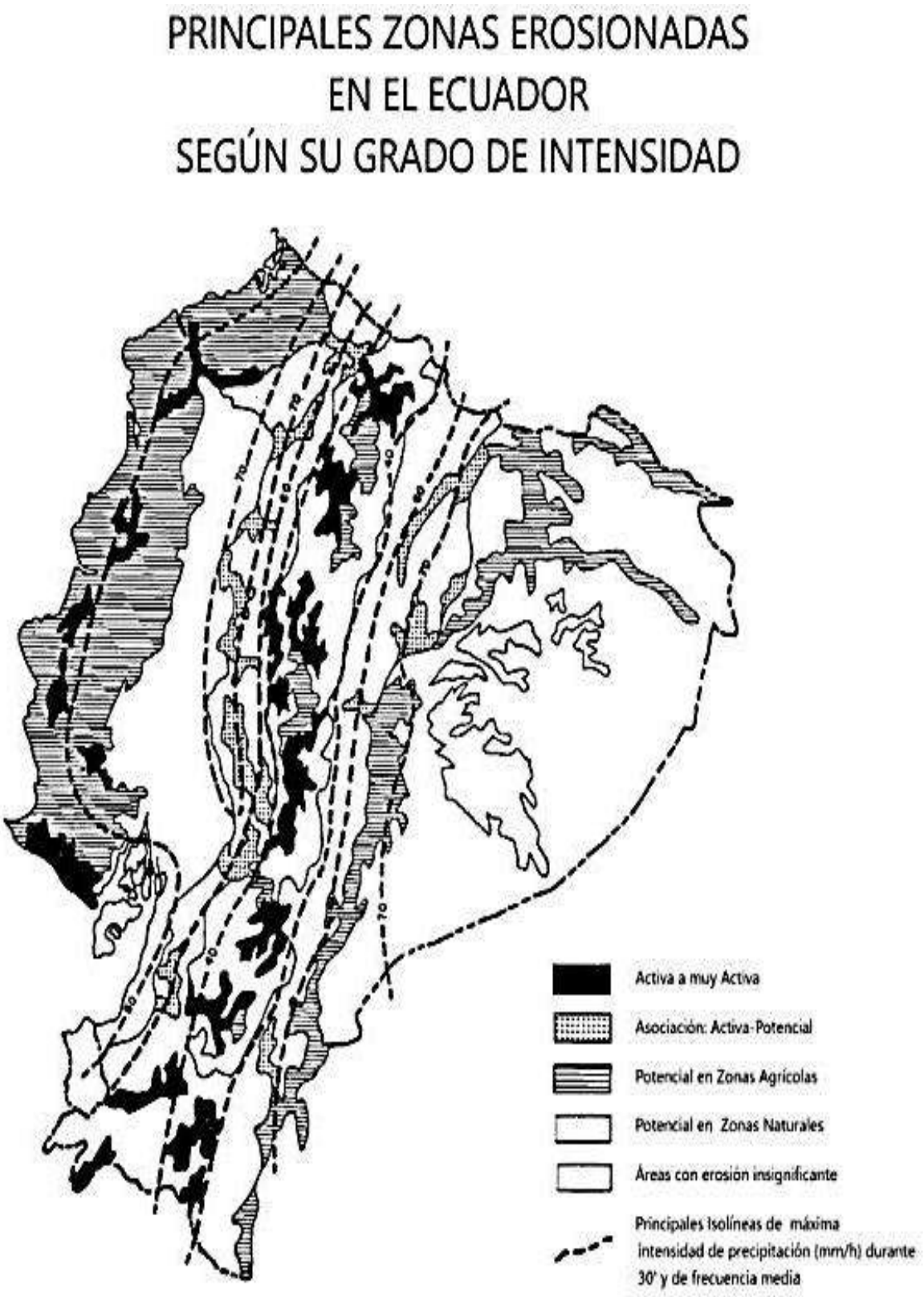


Figura 60. Principales zonas erosionadas en el Ecuador según su grado de intensidad.
Fuente: (Centro ecuatoriano de investigación geográfica, 1986, pág. 13)

5.3. Factores que influyen en la erosión

El factor erosivo más agresivo es el agua de las precipitaciones debido a que actúa con fuertes intensidades e importantes alturas (Centro ecuatoriano de investigación geográfica, 1986)

Los factores pueden ser definidos como:

ACTORES DE LA EROSIÓN	
Creadores	Factores climáticos (precipitaciones y viento)
Condicionantes	Pendiente de los relieves
	Formaciones superficiales
	El hombre por modificar las características de la vegetación natural

Tabla 17, Las causas de la erosión en el Ecuador
Fuente: (Centro ecuatoriano de investigación geográfica, 1986, pág. 9)

Clima	Frecuencia de ocurrencia de chubascos
	Intensidad de la lluvia
	Duración de los chubascos

Tabla 18. Las causas de la erosión en el Aspectos ambientales de la erosión
Fuente: (Centro ecuatoriano de investigación geográfica, 1986, pág. 8)

Topografía	Pendiente
	Forma
	Longitud

Tabla 19. Las causas de la erosión en el Aspectos ambientales de la erosión
Fuente: (Centro ecuatoriano de investigación geográfica, 1986, pág. 8)

Características del suelo	Distribución de partículas
	Contenido de materia orgánica
	Estructura
	Permeabilidad

Tabla 20. Las causas de la erosión en el Aspectos ambientales de la erosión
Fuente: (Centro ecuatoriano de investigación geográfica, 1986, pág. 8)

5.4. Tipos de erosión hídrica

La erosión hídrica es un fenómeno producido por las fuerzas hidráulicas, las mismas que causan desprendimiento, transporte y finalmente depósito de materiales de suelo debido a la fuerza del agua en movimiento (Suárez Días, 1998).

Mientras el flujo superficial avanza las partículas removidas son incorporadas a la corriente, si el gradiente hidráulico es elevado y la superficie del suelo es erosionable, puede formar cavernas aumentando la inclinación del talud (Suárez Días, 1998).

Al incrementarse la inclinación del talud se puede provocar el movimiento de masa o inestabilidad del talud (Ing. Realpe Rivadeneira , 2021)

a. Erosión por gotas de lluvia o por salpicadura (Splash erosion)

La erosión por precipitación ocurre por el impacto de las gotas de agua sobre una superficie desprotegida, el cual produce el desprendimiento y remoción de capas delgadas de suelo (Suárez Días, 2001).

El impacto de la lluvia rompe la estructura del suelo y lo separa en partículas más pequeñas, luego estas son transportadas por la escorrentía. Al caer la gota de lluvia levanta partículas de suelo y las reparte en un área de aproximadamente $1m^2$. Parte de la lluvia se infiltra y parte fluye sobre la superficie (Suárez Días, 2001). Un suelo sin protección vegetal aproximadamente remueve hasta $50m^3$ de suelo por hectárea en una lluvia fuerte de una hora de duración.

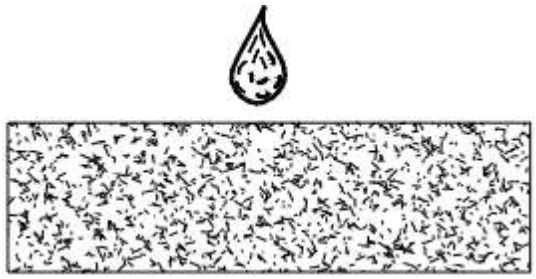


Figura 61. Caída de la gota
Fuente: (Suárez Días, 2001, pág. 61).



Figura 62. Golpe
Fuente: (Suárez Días, 2001, pág. 61).

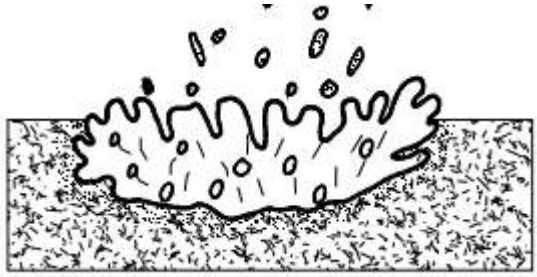


Figura 63. Desprendimiento
Fuente: (Suárez Días, 2001, pág. 61).

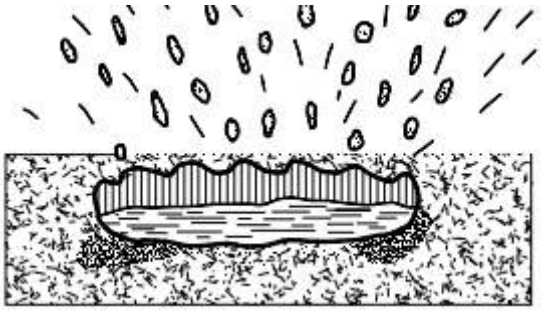


Figura 64. Esparcimiento
Fuente: (Suárez Días, 2001, pág. 61).

La erosión está en función del poder erosionante del agua y de la erosionabilidad del suelo. La erosión causada por la lluvia está determinada por la cantidad, intensidad y duración, cuando la intensidad y cantidad de lluvias es alta la erosión será más rápida (Suárez Días, 2001).

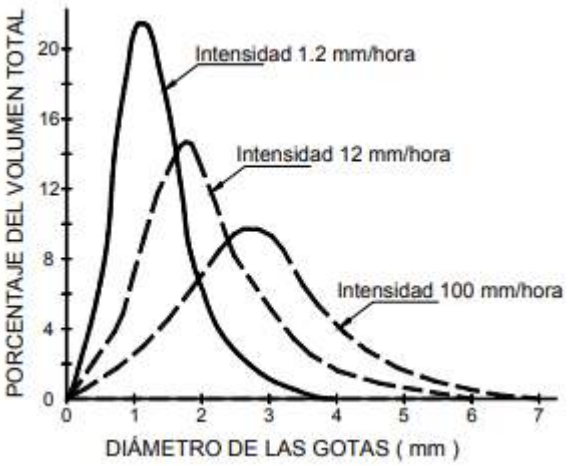


Figura 65. Distribución de las gotas en una lluvia
Fuente: (Suárez Días, 2001, pág. 61).

Cuando el terreno tiene pendiente una pendiente mayor al 2% se forman pequeños surcos y en pendientes menores la erosión es laminar por la acción de la escorrentía que transporta el suelo desprendido por la lluvia (Suárez Días, 2001).

Para la eliminación de la erosión por gotas de lluvia se emplea la cobertura vegetal especialmente los pastos (Suárez Días, 2001).

b. Erosión laminar

La erosión laminar consiste en el desprendimiento y transporte en capas bien definidas superficiales de suelo por acción de la escorrentía difusa (Suárez Días, 2001), con una velocidad menor a 30cm/s a largo de toda la superficie del suelo. El suelo se va perdiendo casi en forma imperceptible, este tipo de erosión es muy común en los suelos residuales y en las zonas recientemente deforestadas (Suárez Días, 2001).

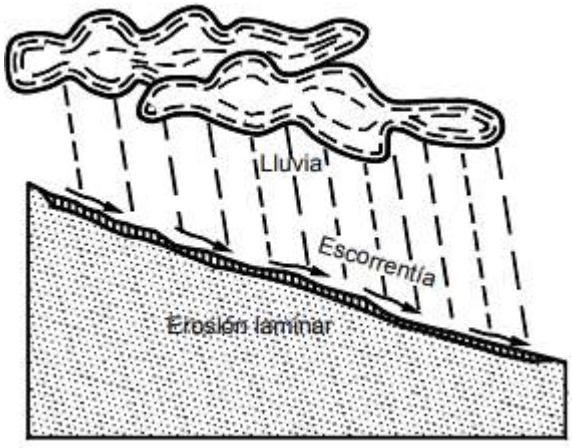


Figura 66. Proceso de erosión laminar
Fuente: (Suárez Días, 2001, pág. 61).

El agua parcialmente se infiltra y acumulará sobre la superficie del terreno, formándose una capa delgada de agua con flujos de 2-3mm de espesor (Suárez Días, 2001). El flujo laminar tiene poco poder erosivo pero se puede convertir en turbulento por acción de la lluvia, aumentando en forma importante su capacidad de erosión, al aumentar el flujo este toma un color marrón debido a la presencia de sedimento (Suárez Días, 2001).

Las áreas que no dispongan de recubrimiento vegetal son susceptibles a sufrir erosión laminar.

c. **Erosión en surcos**

Ocurre cuando el flujo superficial empieza a concentrarse sobre la superficie del terreno, debido a la irregularidad natural de la superficie. Al concentrarse el flujo en pequeñas corrientes sobre una pendiente, se genera una concentración del flujo el cual por la fuerza tractiva de la corriente produce erosión (Suárez Días, 2001).

El impacto de la lluvia y el flujo de agua va en dirección a la inclinación de pendiente provocando microsurcos y en cuanto el flujo es mayor, los surcos se hacen más profundos y de menor densidad. Los surcos paralelos forman una red donde los surcos más profundos rompen la divisoria de los surcos más pequeños (Suárez Días, 1998).

En estos surcos la energía del agua en movimiento adquiere cada vez, una fuerza mayor capaz de desprender y transportar partículas de suelo. Inicialmente, los pequeños canales presentan una forma en V la cual puede pasar a forma en U (Suárez Días, 2001).

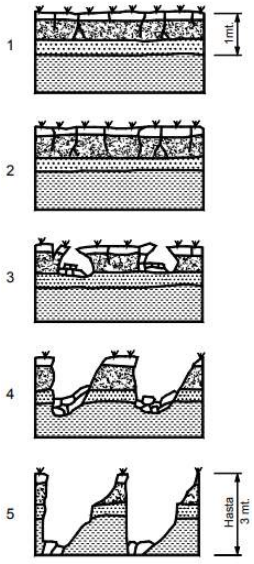


Figura 67. Esquema de la formación de surcos de la erosión
Fuente: (Suárez Días, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas tropicales, 1998, pág. 269)

La erosión se aumenta cuando el espesor del flujo es muy cercano al diámetro de las gotas de lluvia 0.5-5mm, las partículas de suelo son removidas por el golpeo de la lluvia y transportadas por el flujo, aún con pendientes muy pequeñas (Suárez Días, 2001). Los surcos pueden eliminarse con rastrillado y siembra de vegetación.

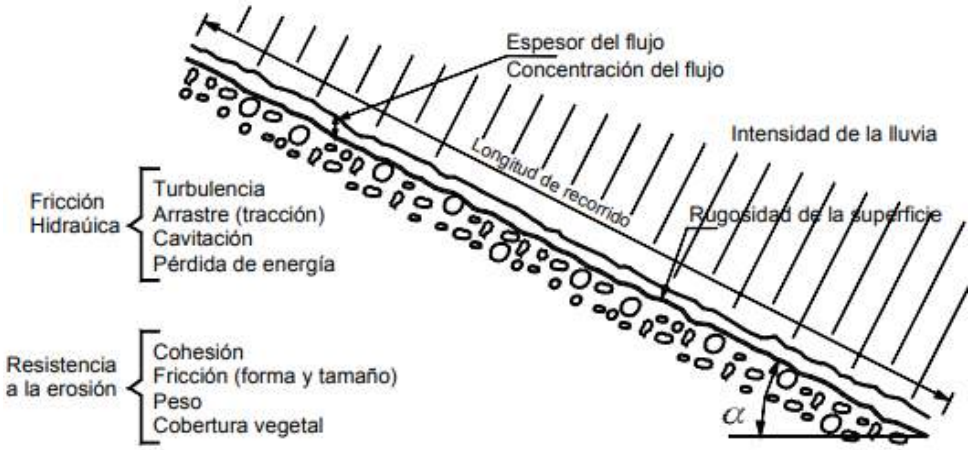


Figura 68. Elementos que intervienen en la formación de surcos
Fuente: (Suárez Días, 2001, pág. 64).

d. Erosión en cárcavas

Las áreas más susceptibles a erosión en cárcavas son aquellas de topografía de alta pendiente y aquellas que tienen suelos altamente erosionables, expansivos debido al proceso de humedecimiento y secado (Suárez Días, 2001).

Cuando los surcos se hacen más profundos y más anchos se dice que los surcos se convirtieron en cárcavas. Si los canales de erosión tienen profundidades de menos de 30cm se les clasifica como surcos y si la profundidad es mayor, como cárcavas. Para eliminar las cárcavas se requiere de obras más complejas de ingeniería. (Suárez Días, 2001).



Fotografía 8. Paisaje de cárcavas de zonas semiáridas. Fotografía tomada por Roberto Pizarro.
Fuente: (Pizarro, Morales , Vega, Olvares , Valdés, & Balocchi, 2009, pág. 16)

e. Erosión en Interna

Cuando el agua fluye internamente en el suelo se produce erosión interna provocando derrumbes y hundimientos en el terreno o forma una cárcava (Suárez Días, 1998).

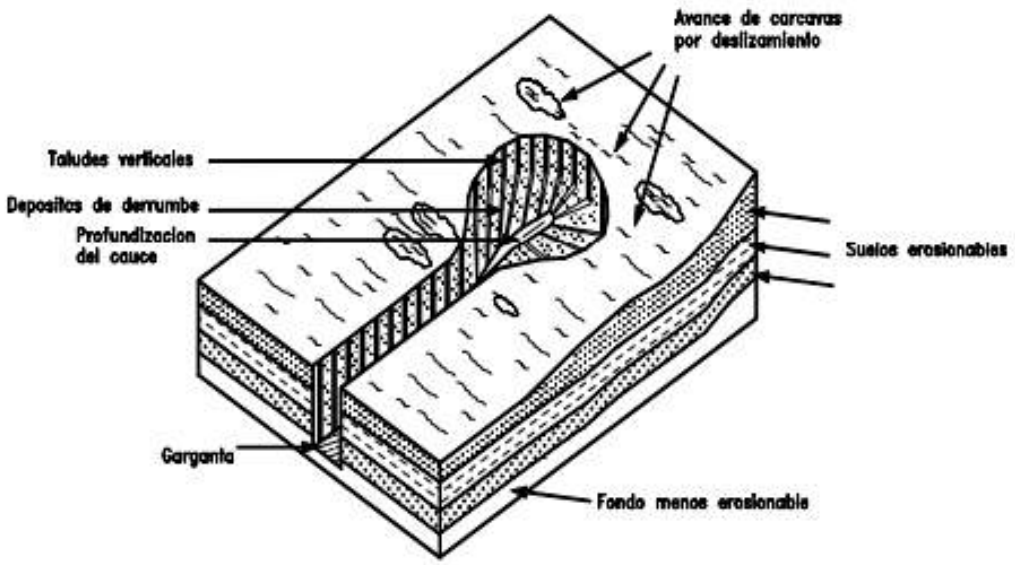


Figura 69. Esquema general de cárcava de erosión
Fuente: (Suárez Días, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas tropicales, 1998, pág. 10)

5.5. Medida y estimación de la erosión

El Manual de Técnicas de estabilización Biotécnica en Taludes de Infraestructuras de Obra Civil, indica que en la actualidad no existe una información precisa para medir la magnitud de la erosión, pero se presentan algunos métodos para la estimación de la misma:

5.5.1. Medición con instrumentos

a) Agujas de erosión

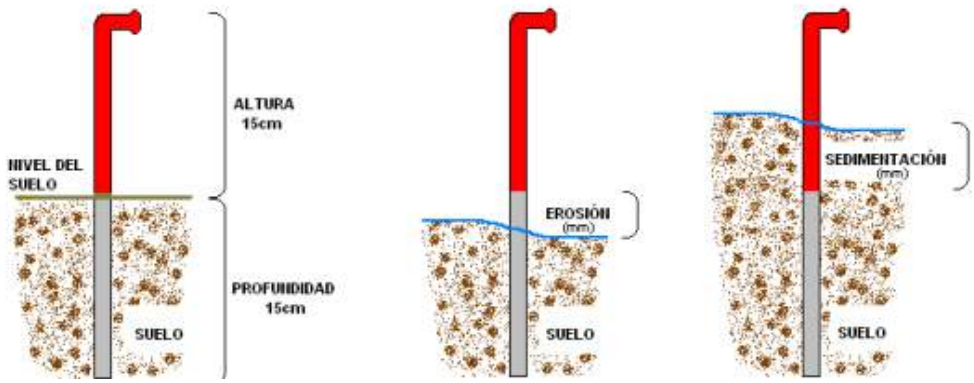


Figura 70. Esquema de las varillas en el suelo, representando los procesos de erosión y sedimentación
Fuente: (Pino Sanhueza, 2008)

- ✓ Se utiliza como referencia varillas o estacas, permitiendo estimar la cantidad de perdida de suelo con referencia a un punto, verificando variación en la altura de suelo con respecto al punto de referencia (Universidad de Córdoba. Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC. Paisajes del Sur SL/ Bonterra Ibérica, SL., 2014).
- ✓ Con las agujas de erosión se puede referencia aproximadamente un valor de la cantidad de erosión de un espécimen, es ideal para casos de erosión intensa, la desventaja es que no tiene una precisión exacta (Universidad de Córdoba. Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC. Paisajes del Sur SL/ Bonterra Ibérica, SL., 2014).

b) Parcelas de erosión



Fotografía 9. Parcelas experimentales
Fuente: (Romero Díaz, Ruiz Sinoga, & Belmonte Serrato, 2011, pág. 135)

- ✓ Este método de recolección permite estimar la cantidad sedimentos en áreas pequeñas, el mantenimiento de las parcelas son de un costo sumamente elevado, por esta razón es que se recomienda que se emplee este método siempre y cuando se cuente con recursos económicos y sea de gran importancia determinar con una mayor precisión la erosión (Universidad de Córdoba. Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC. Paisajes del Sur SL/ Bonterra Ibérica, SL., 2014).

c) Trazadores y evaluación de huellas tipo diverso

El óxido de hierro magnético o magnetita contiene partículas esféricas de 2 µm con una densidad de 4,6 mg/m^3, esta sustancia permite verificar el movimiento del sedimento a lo largo del cuerpo del talud. En el caso de huellas, estas permiten determinar el origen los sedimentos a lo largo del talud o a diferentes profundidades de suelo (Universidad de Córdoba. Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC. Paisajes del Sur SL/ Bonterra Ibérica, SL., 2014).



Fotografía 10. Óxido de hierro magnético.
Fuente: (Guzmán, Laguna, Giráldez, Strohmeier, & Gómez, 2015, pág. 2)



Fotografía 11. Regueros en una de las parcelas.
Fuente: (Guzmán, Laguna, Giráldez, Strohmeier, & Gómez, 2015, pág. 5)

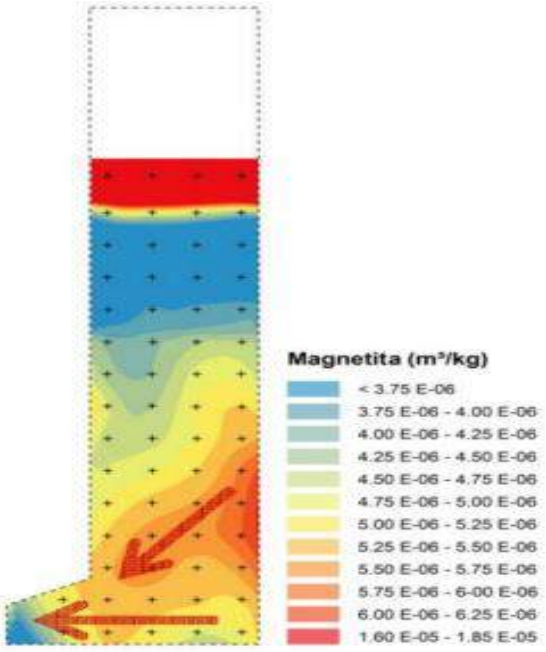


Figura 71. Regueros en una de las parcelas.
Fuente: (Guzmán, Laguna, Giráldez, Strohmeier, & Gómez, 2015, pág. 6)

5.5.2. Estimación de la erosión mediante modelos

Ecuación universal de la pérdida del suelo (USLE)

Para la estimación de la erosión en modelos de ladera o talud la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, relaciona la pérdida media de suelo por erosión hídrica en función de los factores erosivos (Universidad de Córdoba. Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC. Paisajes del Sur SL/ Bonterra Ibérica, SL., 2014).

La ecuación expresa el promedio de las pérdidas anuales de suelo a largo plazo (en toneladas métricas por hectárea y año, t*ha-1*año-1) bajo usos y manejos de suelo específicos. Es una ecuación estocástica, no válida para un año concreto ni para un evento particular (Guzmán, Laguna, Giráldez, Strohmeier, & Gómez, 2015).

La pérdida media de suelo de una parcela se expresa como el producto de los diferentes factores:

Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo

$$\mathbf{A = R\ x\ K\ x\ LS\ x\ C\ x\ P}$$

$$R = E\ x\ I_{30}$$

Dónde:

A = es la pérdida de suelo promedio anual por unidad de superficie, que se mide en toneladas por hectárea y año, ton $ha^{-1}año^{-1}$.

R = es el factor agresividad de la lluvia o erosividad.

K = es el factor erodibilidad o susceptibilidad del suelo a ser desprendido y arrastrado.

LS = caracterizan el relieve del terreno, longitud y ángulo de inclinación, respectivamente.

C = es el factor que refleja la cubierta o condición de la superficie del suelo, incluyendo en ella la vegetación y sus restos. (Suelo árido = 1; praderas = 0,1; bosque, selva = 0,01)

P = es el factor de protección debido a prácticas de conservación como: barreras vivas, cultivo en terrazas, bancales, etc.

5.5.3. Estimación de la erosión por síntomas

- ✓ Este método se basa en evaluar el talud de forma visual, es de gran utilidad la inspección continua del estado y grado de erosión mediante un conjunto de indicadores los mismos que tienen un valor tal como se muestra:

CALIFICACIÓN	INDICADORES
0	Raíces de árboles o plantas no expuestas y más del 70% con cobertura vegetal
0.5	Poca exposición de raíces de árboles o plantas pendiente ligeramente elevada con cobertura vegetal del 30 al 70%
1	Exposición de raíces de árboles o plantas y cobertura vegetal del 30 al 70%
2	Exposición de raíces de árboles profundidad de montículo de suelo de 1-5 cm, cubierta vegetal del 30 al 70%.
3	Exposición de raíces de árboles montículos de suelo de 5-10 cm, costra superficial de 2-5 mm de espesor arrastre de materiales gruesos por el agua y el viento; cobertura vegetal inferior al 30%.
4	Exposición de raíces de árboles montículos de suelo de 5-10 cm de profundidad arrastre de materiales gruesos, regueros hasta 8 cm de profundidad y suelo desnudo
5	Cárcavas o regueros con más de 8 cm de profundidad; arrastres por viento y suelo desnudo.

Tabla 21. Indicadores de estimación de la erosión, adaptados de Morgan (1997)
Fuente: (Universidad de Córdoba. Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC. Paisajes del Sur SL/ Bonterra Ibérica, SL., 2014)

6. CAPÍTULO VI: REVESTIMIENTO DE TALUDES PARA ESTABILIDAD Y CONTROL DE EROSIÓN

Para realizar la estabilización de taludes se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- ✓ Establecer el método de estabilización más adecuado, tomando en cuenta el estado en el que se encuentra el talud estudiado (Suárez Días, 1998).
- ✓ Tener los planos y especificaciones necesarias para ejecutar la obra de estabilidad (Suárez Días, 1998).
- ✓ Verificar y controlar antes y después de realizar la estabilización (Suárez Días, 1998).

6.1. Métodos para estabilizar taludes o laderas

a. Conformación del talud o ladera

Son métodos que permiten un equilibrio de masas, disminuyendo las fuerzas que ocasionan el movimiento (Suárez Días, 1998).

Método	Ventajas	Desventajas
Remoción de materiales de la cabeza del talud	Es efectivo en la estabilización de deslizamientos rotacionales (Suárez Días, 1998).	En movimientos muy grandes las masas a remover tendrían una gran magnitud (Suárez Días, 1998).
Abatimiento de la pendiente	Efectivo en suelos friccionantes (Suárez Días, 1998).	No es viable económicamente en taludes de gran altura (Suárez Días, 1998).
Terraceo de la superficie	Además de la estabilidad al deslizamiento, permite construir obras para controlar la erosión (Suárez Días, 1998)	En movimientos muy grandes las masas a remover tendrían una gran magnitud (Suárez Días, 1998).

Tabla 22. Métodos de conformación topográfica para equilibrar fuerzas
Fuente: (Suárez Días, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas tropicales, 1998, pág. 387).

b. Recubrimiento de la superficie

Este método evita que existan infiltraciones y evitar que se produzca la erosión, el recubrimiento puede ser de concreto o de cobertura vegetal (Suárez Días, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas tropicales, 1998).

Método	Ventajas	Desventajas
Recubrimiento de la superficie del talud	Ayuda a controlar la erosión (Suárez Días, 1998).	Se debe garantizar la estabilidad del recubrimiento (Suárez Días, 1998).
Sellado de juntas, grietas y discontinuidades.	Minimiza la infiltración de agua y presiones de poro en las discontinuidades (Suárez Días, 1998).	Las grietas pueden abrirse nuevamente, requiere mantenimiento por períodos largos de tiempo (Suárez Días, 1998).
Cobertura vegetal. Arboles Arbustos y Pastos	Representan una alternativa ambientalmente excelente (Suárez Días, 1998).	Requieren mantenimiento para su estabilidad (Suárez Días, 1998).

Tabla 23. Métodos de recubrimiento de la superficie del talud
Fuente: (Suárez Días, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas tropicales, 1998, pág. 389).

c. Control de agua superficial y subterránea

Estos métodos permiten controlar el agua y sus efectos, reduciendo las fuerzas que provocan movimiento (Suárez Días, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas tropicales, 1998).

Método	Ventajas	Desventajas
Canales superficiales para control de escorrentía.	Es recomendable construir como obra complementaria en la mayoría de los casos, las zanjas se construyen arriba de la corona del talud (Suárez Días, 1998).	Se deben realizar estructuras para la entrega de las aguas y disipación de energía (Suárez Días, 1998).
Subdrenes de zanja.	Es efectivo para estabilizar deslizamientos poco profundos en suelos saturados subsuperficialmente (Suárez Días, 1998).	No son tan efectivos para estabilizar deslizamientos profundos o deslizamientos con nivel freático profundo (Suárez Días, 1998).
Subdrenes horizontales de penetración.	Muy efectivos para interceptar y controlar aguas subterráneas relativamente profundas (Suárez Días, 1998).	Se requieren equipos especiales de perforación y su costo puede ser alto (Suárez Días, 1998).
Galerías o túneles de subdrenaje.	Efectivos para estabilizar deslizamientos profundos en formaciones con permeabilidad significativa y aguas subterráneas (Suárez Días, 1998).	Muy costosos (Suárez Días, 1998).
Pozos profundos de subdrenaje.	Útiles en deslizamientos profundos con aguas subterráneas. Efectivos para excavaciones no permanentes (Suárez Días, 1998).	Su uso es limitado debido a la necesidad de operación y mantenimiento permanente (Suárez Días, 1998).

Tabla 24. Métodos de control de agua y presión de poros.
Fuente: (Suárez Días, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas tropicales, 1998, pág. 389)

d. Estructuras de contención

Métodos en los cuales se van a colocar fuerzas externas al movimiento aumentando las fuerzas resistentes, sin disminuir las actuantes.

Método	Ventajas	Desventajas
Relleno o berma de roca o suelo en la base del deslizamiento.	Efectivos en deslizamientos no muy grandes especialmente en los rotacionales actuando como contrapeso (Suárez Días, 1998).	Se requiere una cimentación competente para colocar el relleno (Suárez Días, 1998).
Muros de contención convencionales , de tierra armada etc.	Útiles para estabilizar masas relativamente pequeñas (Suárez Días, 1998).	Se requiere una buena calidad de cimentación. Son poco efectivos en taludes de gran altura (Suárez Días, 1998).
Pilotes	Efectivos en movimientos poco profundos, el suelo de abajo de la superficie de falla debe ser bueno para permitir el hincado y soporte de los pilotes (Suárez Días, 1998).	Son poco efectivos en deslizamientos profundos o cuando aparece roca o suelo muy duro (Suárez Días, 1998).
Anclajes o pernos	Efectivos en roca, especialmente cuando es estratificada (Suárez Días, 1998).	Se requieren equipos especiales y son usualmente costosos (Suárez Días, 1998).
Pantallas ancladas	Útiles como estructuras de contención de masas de tamaño pequeño a mediano (Suárez Días, 1998).	Existen algunas incertidumbres sobre su efectividad en aguas subterráneas y son costosas (Suárez Días, 1998).

Tabla 25. Métodos de estructuras de contención.
Fuente: (Suárez Días, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas tropicales, 1998, pág. 390)

e. Mejoramiento de suelo

Métodos que aumenten la resistencia del suelo. Incluyen procesos físicos y químicos que aumentan la cohesión y/o la fricción de la mezcla suelo-producto estabilizante o del suelo modificado.

Método	Ventajas	Desventajas
Inyecciones o uso de químicos	Endurecen el suelo y pueden cementar la superficie de falla (Suárez Días, 1998).	La disminución de permeabilidad puede ser un efecto negativo (Suárez Días, 1998).
Congelación	Endurece el suelo al congelarlo (Suárez Días, 1998).	Efectos no permanentes (Suárez Días, 1998).
Electro-osmosis	Reducen el contenido de agua (Suárez Días, 1998).	Utilización para estabilización no permanente (Suárez Días, 1998).
Explosivos	Fragmenta la superficie de falla (Suárez Días, 1998).	Su efecto es limitado y puede tener efectos negativos (Suárez Días, 1998).

Tabla 26. Métodos para mejorar la resistencia del suelo.
Fuente: (Suárez Días, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas tropicales, 1998, pág. 390)

6.2. Geosintéticos

Estos productos son fabricados con productos derivados del petróleo, se usan para mejorar, cambiar o mantener las características de las partículas de suelo (Soluciones Ambientales, 2017).

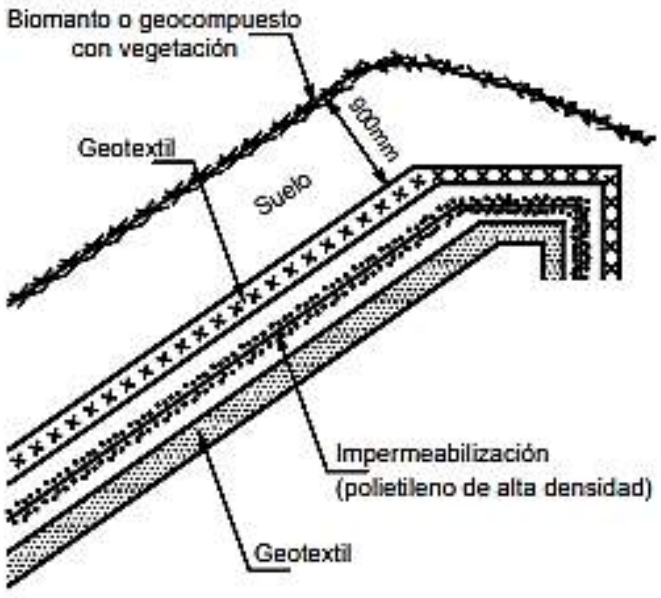


Figura 72. Ejemplo de esquema de protección de la superficie superior de un relleno sanitario utilizando geosintéticos
Fuente: (Suárez Días, Control de Erosión en Zonas Tropicales, 2001, pág. 194)

Sus principales funciones son:

a. Separación

No permite que se mezclen materiales diferentes previniendo la contaminación entre ellos (Soluciones Ambientales, 2017).

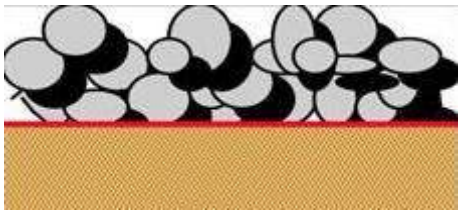


Figura 73. Separación
Fuente: (Soluciones Ambientales, 2017, pág. 1).

b. Filtración

Es la función que por medio de geosintéticos porosos, flexibles y permeables, en presencia de agua entre dos estratos o materiales diferentes, permite el paso del fluido, evitando la migración de finos o que las partículas se mezclen o contaminen entre sí (Soluciones Ambientales, 2017).

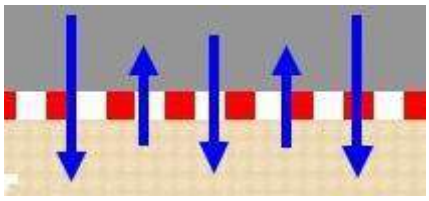


Figura 74. Separación
Fuente: (Soluciones Ambientales, 2017, pág. 1).

c. Drenado

Permite el flujo entre dos estratos, transportando fluidos o gases a través del geosintético (Soluciones Ambientales, 2017).

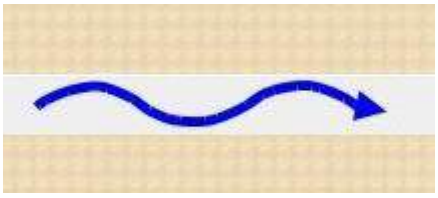


Figura 75. Separación
Fuente: (Soluciones Ambientales, 2017, pág. 1).

d. Refuerzo

Aumenta la capacidad de carga de un terreno, dando como resultado una mayor estabilidad, por medio de la distribución de cargas sobre la superficie debido a la fricción a la que son sometidos los geosintéticos (Soluciones Ambientales, 2017).

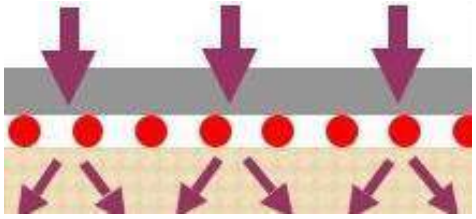


Figura 76. Separación
Fuente: (Soluciones Ambientales, 2017, pág. 1).

e. Protección

Absorbe y mitiga la fuerza ejercida sobre una superficie contra los cuerpos que puedan producir daño (Soluciones Ambientales, 2017).

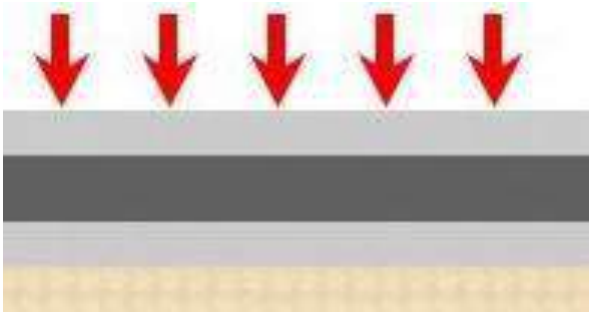


Figura 77. Separación
Fuente: (Soluciones Ambientales, 2017, pág. 1).

f. Impermeabilización

Aísla dos estratos diferentes evitando la impregnación de uno con el otro (Soluciones Ambientales, 2017).

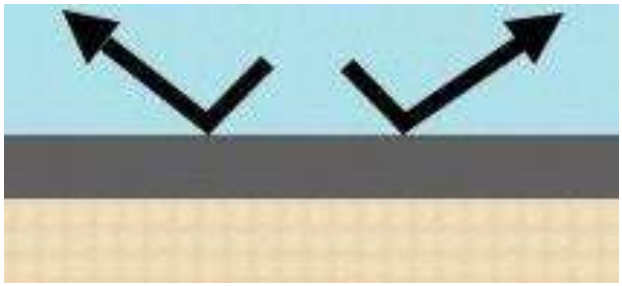


Figura 78. Separación
Fuente: (Soluciones Ambientales, 2017, pág. 1).

6.3. Clasificación de geosintéticos

6.3.1. Geotextiles

Estos son elaborados de fibras sintéticas (polipropileno, poliamidas o poliéster), para seleccionar el tipo de producto se debe tomar en cuenta el tamaño de las partículas de suelo y las cargas a las cuales serán sometidos (Soluciones Ambientales, 2017).

CAMPO DE APLICACIÓN	FUNCIÓN PRINCIPAL	FUNCIONES SECUNDARIAS
Carreteras	Separación	Filtración, protección, drenaje
Ferrocarriles	Separación, filtración	…
Obras hidráulicas	Filtración	Separación
Drenajes	Filtración	Separación, drenaje
Taludes	Refuerzo (rotura de la capilaridad, confinamiento de partículas y refuerzo a la tracción, de esta manera absorbe los esfuerzos de empuje y evita el vuelco del talud)	Drenaje
Túneles	Protección, drenaje	…
Vertederos	Protección	Drenaje, refuerzo

Tabla 27. Campos de aplicación de los geotextiles
Fuente: (Gamarra Cotohuanca, 2014, pág. 11)

Su función es permanente en especial para la filtración o separación, los productos pueden ser fabricados de la siguiente manera:

- **No tejido**

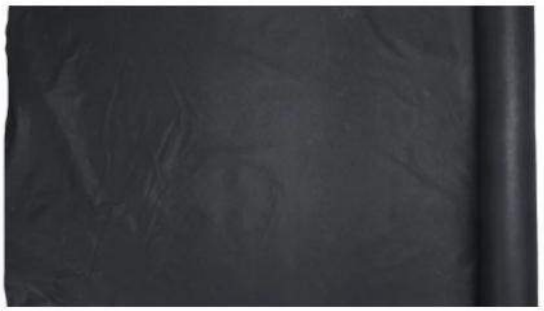


Figura 79. Geotextil no tejido de poliester
Fuente: (GEOSINTETICOS ARPIMIX MEXICO, 2021, pág. 1)

Características:

- Económico.
- La ventaja de este material es que es el más económico para estabilización.
- Su instalación es rápida, es reciclable y no permite que crezca la vegetación.

Aplicación:



Figura 80. Geotextiles No tejidos
Fuente: (GEOMATRIX, GEOMATRIX, 2019, pág. 1)

- **Tejido**

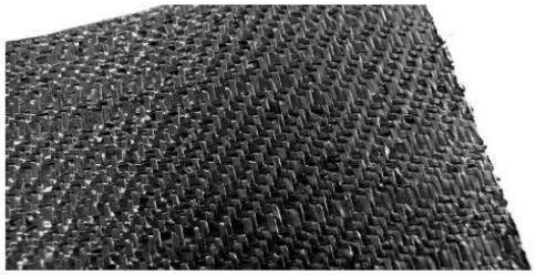


Figura 81. Geotextil tejido
Fuente: (GEOSINTETICOS ARPIMIX, 2021, pág. 1)

Características:

- Son materiales recomendados en zonas agresivas, tiene una gran resistencia al desgaste biológico.
- Tiene una buena resistencia a la luz ultravioleta y a la tensión, cuenta con una excelente capacidad de drenaje.

Aplicación:



Figura 82. Geotextiles tejidos
Fuente: (GEOMATRIX, GEOMATRIX, 2020, pág. 1)

6.3.2. Geomallas

Son mallas para estabilidad y control de erosión, las mismas son elaboradas con membranas sintéticas que tienen aberturas de diferentes formas, estas son flexibles fabricadas con fibras de poliéster, polietileno o polipropileno obteniendo una alta resistencia a la tracción con alta resistencia a la deformación.

Pueden ser fabricados de la siguiente manera:

- **Geomalla Uniaxial**

  Es una son estructura bidimensional, fabricado con materiales de alta densidad para brindar un alto módulo de deformación, capacidad de absorción y distribución de esfuerzos de tensión.



Figura 83. Ejemplos típicos de geomallas para refuerzo (Tensar Earth technologies, 1994)
Fuente: (Suárez Días, Control de Erosión en Zonas Tropicales, 2001, pág. 202)

Características:

- Resiste a la tensión, alto módulo elástico, bajo creep, mantiene la estabilidad y controla las deformaciones de las estructuras a largo plazo (Geomatrix, 2016).

Aplicación:



Figura 84. Geomalla Biaxial
Fuente: (GEOMATRIX, GEOMATRIX, 2019, pág. 1)

- **Geomalla Biaxial**

  Está fabricado con materiales de alta densidad para proveer un alto módulo a la tensión y resistencia a los daños que se dan durante su instalación, sigue un proceso de extrusión seguido de una elongación biaxial produciendo una forma uniforme en sus aberturas.

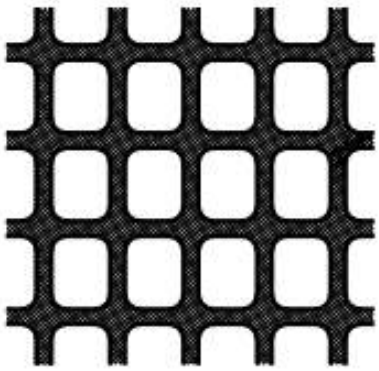


Figura 85. Ejemplos típicos de geomallas para refuerzo (Tensar Earth technologies, 1994)
Fuente: (Suárez Días, Control de Erosión en Zonas Tropicales, 2001, pág. 202)

Características:

- Permite realizar un mejoramiento en la subrasante, subase, mayora la carga admisible efectiva de zapatas corridas, disminuye el asentamiento, ideal para suelos pantanosos o blandos.
- Ayuda a construir taludes estructuralmente estables con mayor inclinación y aumentar la capacidad.

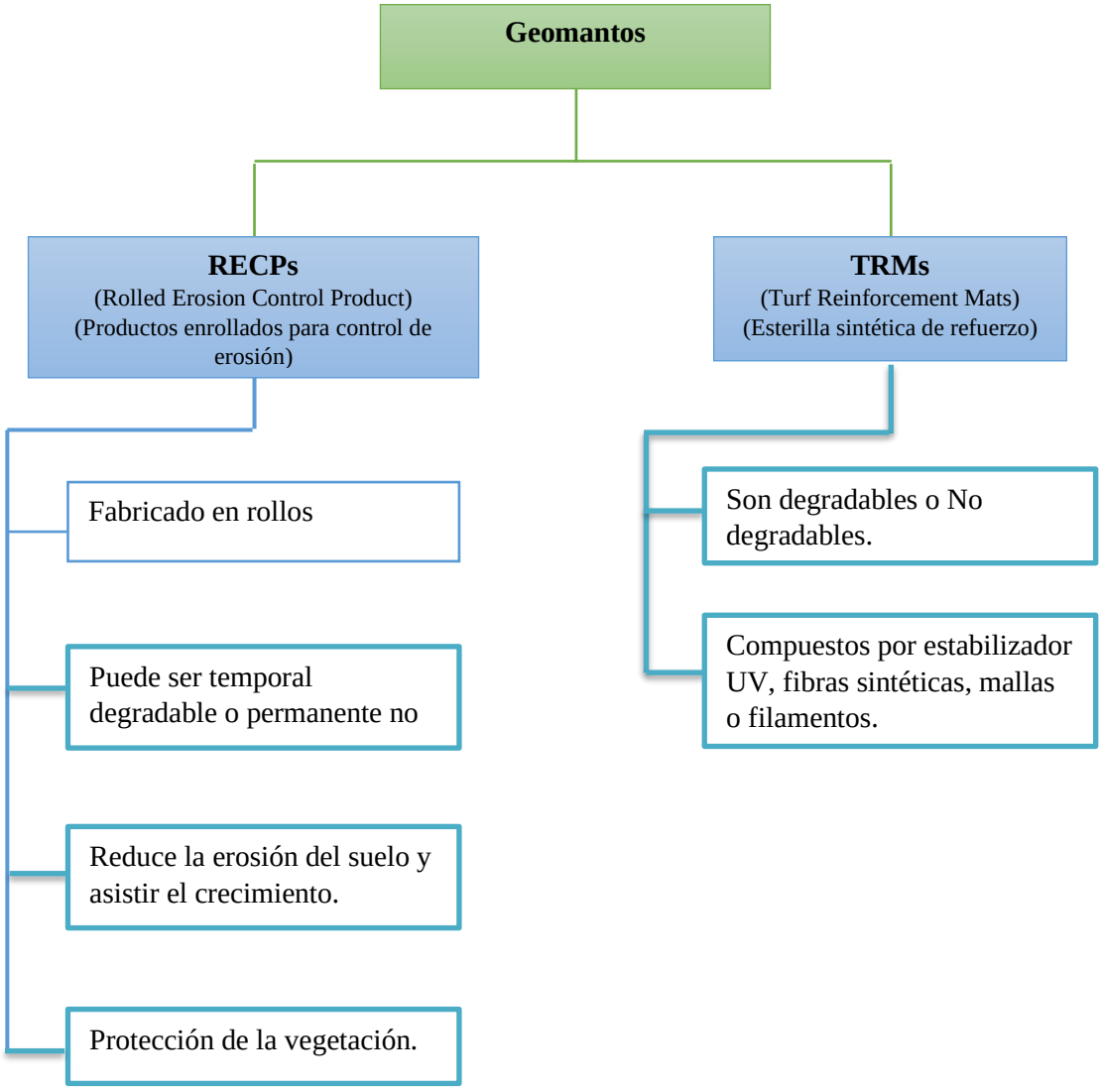


Figura 86. Geomallas Biaxiales
Fuente: (GEOMATRIX, GEOMATRIX, 2019, pág. 1)

6.3.3. Geomantos

Los geomantos conocidos también como biomantas son productos que tienen la función de controlar la erosión, estabilización de taludes, limitar el movimiento de partículas en áreas erosionadas, permite la germinación y crecimiento de la vegetación en taludes con su sistema de conservación de la humedad (República del Ecuador Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones MOP-001-F, 2002).

Los materiales de los geomantos pueden ser sintéticos o tener materiales biodegradables (de fibras naturales) estos pueden ser temporales o permanentes, las semillas que se planten deben ser de rápido crecimiento para retener los procesos erosivos (República del Ecuador Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones MOP-001-F, 2002).



Esquema 4. Geomantos de Pivaltec
Fuente: (Elaboración Propia)

- **Rolled Erosion Control Product (RECPs):**

  Es un material fabricado en rollos de fibras naturales (yute, cabuya, sisal, variedades musáceas, lignitas, coco) reforzado con una malla de polipropileno que puede ser temporal degradable o permanente no degradable (Geosintéticos ARPIMIX México, 2021).



Figura 87. Geomanta de fibra de coco, estabilización de taludes
Fuente: (Geosintéticos ARPIMIX México, 2021, pág. 1)

La geomanta de fibra de coco provee al suelo de una alta protección contra la erosión permitiendo una baja tasa de pérdida de suelo. Posteriormente que la geomanta de fibra de coco se degrada, la vegetación madura estabiliza el suelo permanentemente (Geosintéticos ARPIMIX México, 2021)



Figura 88. Biomanto de fique para facilitar el establecimiento de la vegetación.
Fuente: (Suárez Días, Control de Erosión en Zonas Tropicales, 2001, pág. 203)

Características:

- Controlar la erosión provocada por el viento o agua en un periodo de 18 a 36 meses, minimiza la sedimentación en canales, permite la revegetación en zonas alteradas o intervenidas (Geosintéticos ARPIMIX México, 2021).
- Estabilización de taludes empinadas, protege de las semillas del arrastre de agua (velocidad de flujo 1 a 2 m/s por más de 24h) (Geosintéticos ARPIMIX México, 2021).
- Resiste la tracción (entre 2 a 5 kg/m2)

Aplicación:

- Taludes escalonados, estabilización de taludes 3:1 y 2:1, canales de flujo, zonas con alta precipitación y escurrimiento, suelos propensos a la erosion, márgenes de ríos y zonas de recreación (Geosintéticos ARPIMIX México, 2021).

Se debe tomar en cuenta varios aspectos para que se logre el buen funcionamiento de la geomanta como:

- Necesariamente el suelo debe ser fértil para lograr sembrar la vegetación (las semillas deben ser propias de la región) que permita proporcionar la estabilidad necesaria sobre el talud. La biomanta proporciona un clima que simula a un invernadero para que crezca la vegetación (Geosintéticos ARPIMIX México, 2021).

Turf Reinforcement Mats (TRMs):

Fabricados de fibras sintéticas (polipropileno, nylon poliéster y polietileno), es una manta de refuerzo con revestimiento de césped tridimensional, el 95% de la biomanta tiene espacio libre para que se desarrolle la vegetación en la superficie del talud (Geosintéticos ARPIMIX México, 2021).

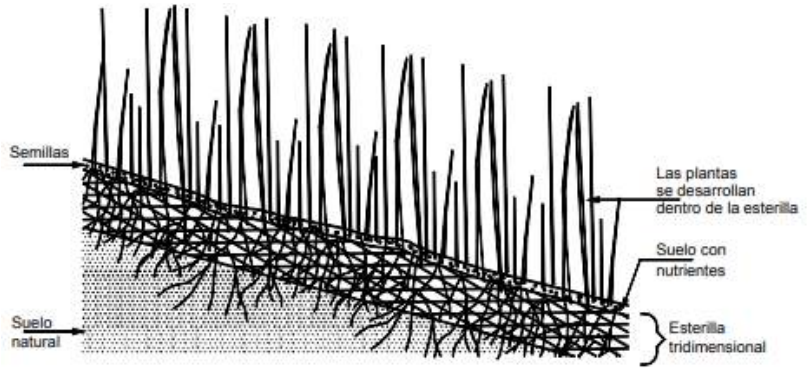


Figura 89. Ilustración esquemática del establecimiento de vegetación utilizando una esterilla tridimensional TRM.
Fuente: (Suárez Días, Control de Erosión en Zonas Tropicales, 2001, pág. 202)



Figura 90. Geomanta tridimensional control de erosión
Fuente: (Geosintéticos ARPIMIX México, 2021, pág. 1)

Características:

- Controla la erosión por viento y agua (velocidad de flujo 2,4 - 3 m/s (sin vegetación) y de 4,2 a 6 m/s (con vegetación) por más de 24 h), cuando se revegete la geomanta duplica la eficacia de sus propiedades, protege contra el elevado empuje hidrostático así como contra grandes flujos hidráulicos creadas por los vertidos de escurrimientos obteniendo un 99% de efectividad (Geosintéticos ARPIMIX México, 2021).

Aplicación:



Figura 91. Mantos permanentes para el control de erosión
Fuente: (GEOMATRIX, GEOMATRIX, 2020, pág. 1)

Geomembranas

Son recubrimientos de baja permeabilidad fabricados de polímeros (HDPE O PVC) que brindan resistencia y durabilidad para prevenir el exceso de humedad y actuar como una barrera para evitar el desperdicio de fluidos (Geosintéticos ARPIMIX México, 2021).



Figura 92. Geomembrana de PVC
Fuente: (Geoconcret, 2021)

Características:

- Ayuda en la impermeabilización de cubiertas de todo tipo, se fija con pistolas de aire caliente o rodillos de goma, tienen protección UV, es anti-flama y anti-hongos, no es tóxico para piscinas o para criaderos de animales acuáticos (Geosintéticos ARPIMIX México, 2021).

Aplicación:

- Ideales para túneles, canales, muros, estanques, reservorios, rellenos sanitarios, invernaderos, biodigestores, cimentaciones y piscinas (Geosintéticos ARPIMIX México, 2021).

6.4. Instalación de geomantos en taludes

Es importante analizar el tipo de material del que está compuesto el talud, ya que dependiendo de sus características, se seleccionara el método de protección más adecuado. Se debe consultar con un ingeniero geotecnista para que evalúe la mejor opción de tratamiento a utilizar (Centros de Excelencia Técnica, Unidad, Normalización y Laboratorios, 2018).

Posteriormente, se debe estudiar las propiedades mecánicas, físicas y de desempeño de los materiales a emplear, cumpliendo los requerimientos solicitados por las normas:

ENSAYOS DISPONIBLES EN EL LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN PUCE	NORMA
Carga de rotura y elongación en Geotextiles (Método Grab)	ASTM D 4632
Resistencia al rasgado trapezoidal de Geotextiles	ASTM D 4533
Resistencia al Punzonamiento de Geotextiles/Geomembranas	ASTM D 4833
Resistencia a la Rotura de Geomembrana	ASTM D 6693
Resistencia a la Tracción y Elongación en Geotextiles (Método de Tira Ancha)	ASTM D 4595
Resistencia a la Tracción y Elongación a la rotura de Geomallas (Método de Múltiples Costillas)	ASTM D 6637
Resistencia a la Tracción y Elongación a la rotura de Geomallas (Método de Una costilla)	ASTM D 6637
Resistencia a la tracción de la costilla en Geomalla	GRI:GG1
Resistencia a la tracción de la unión (nudo) en Geomalla	GRI:GG2
Tracción y elongación a la rotura de Geomantas	**ASTM D6818**
Masa por unidad de área	**ASTM D6566**

Tabla 28. Ensayos disponibles en el laboratorio de materiales de construcción PUCE.
Fuente: (Elaboración propia)

Precision Geosynthetic Laboratories International	NORMA
Nominal Thickness of Geosynthethics	ASTM D 5199
UV Resistance	ASTM D 7238
Light Penetration Turf Reinforcement Mats (TRMs)	ASTM D 6567
Measring the Resillency of Turf Reinforcement Mats (TRMs)	ASTM D 6524
Flexural	ASTM D 790

Tabla 29. Ensayos para geo sintéticos en el "Precision Geosynthetic Laboratories International¨.
Fuente: (Elaboración propia)

6.4.1. Preparación del terreno

- ✓ Remover todo el material que dificulte el contacto directo del manto con el suelo como escombros, raíces, etc., la superficie del talud debe estar con la inclinación especificado en los planos.
- ✓ Después de que el talud este estable y compacto, si hay la existencia de huecos se deben rellenar, por último, se deberá realizar seguir las recomendaciones del fabricante para la construcción de las trincheras de anclaje para la instalación del producto en la corona y en el pie (Centros de Excelencia Técnica, Unidad, Normalización y Laboratorios, 2018).

- ✓ Dimensiones mínimas: En la cresta del talud 0.15 m de ancho x 0.30 m de profundidad, y en el pie a de 0,60 m – 0,90 m del borde, utilizando ganchos en ¨U¨ o estacas triangulares (Centros de Excelencia Técnica, Unidad, Normalización y Laboratorios, 2018)

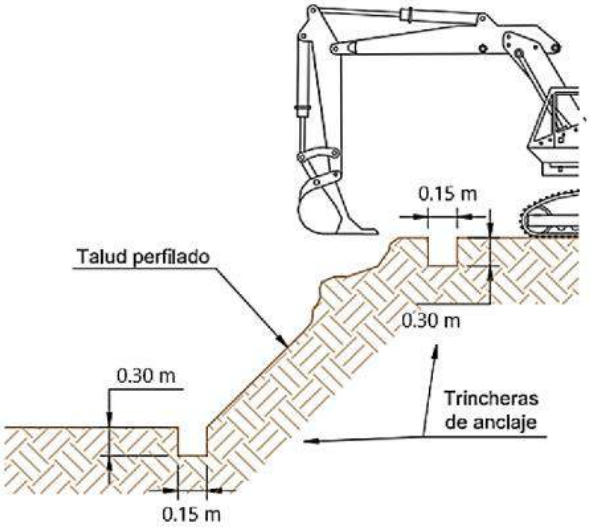


Figura 93. Preparación del terreno
Fuente: (GEOMATRIX , 2014, pág. 6)

6.4.2. Siembra de cobertura vegetal

- ✓ Dependiendo del tipo de terreno del talud se debe preparar la mezcla vegetal especificada por un profesional en ciencias agrícolas, posteriormente regar la mezcla vegetal sobre toda la superficie antes de la instalación del manto (GEOMATRIX , 2014).

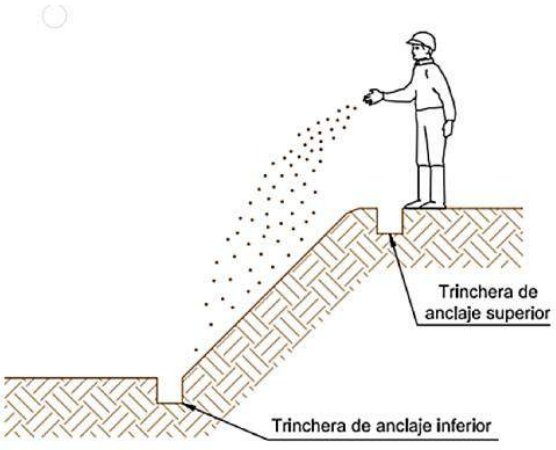


Figura 94. Aplicación de cobertura vegetal
Fuente: (GEOMATRIX , 2014, pág. 6)

6.4.3. Cubrir la superficie con el manto

- ✓ Colocar el manto en la zanja superior y anclar con grapas a cada metro en el borde del material de esta manera se evita el ingreso de agua por debajo del manto y

permitirá un mejor contacto terreno-manto, posteriormente desenrollar la biomanta hacia abajo cuidadosamente (GEOMATRIX , 2014)..

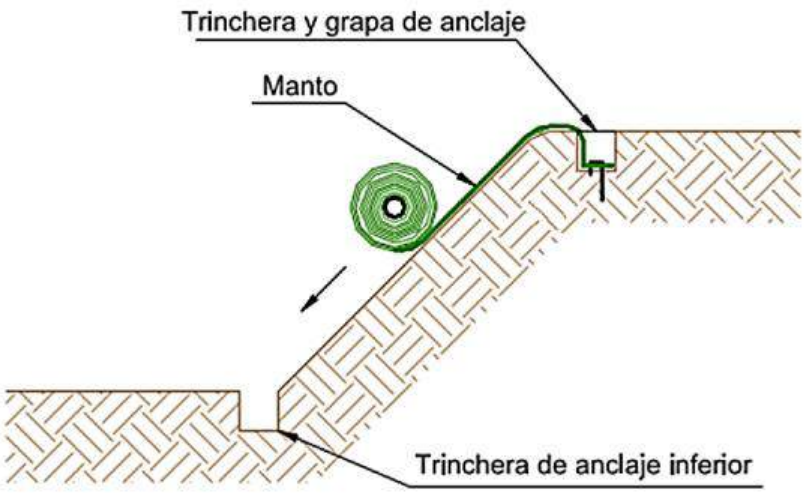


Figura 95. Extensión del manto
Fuente: (GEOMATRIX , 2014, pág. 7)

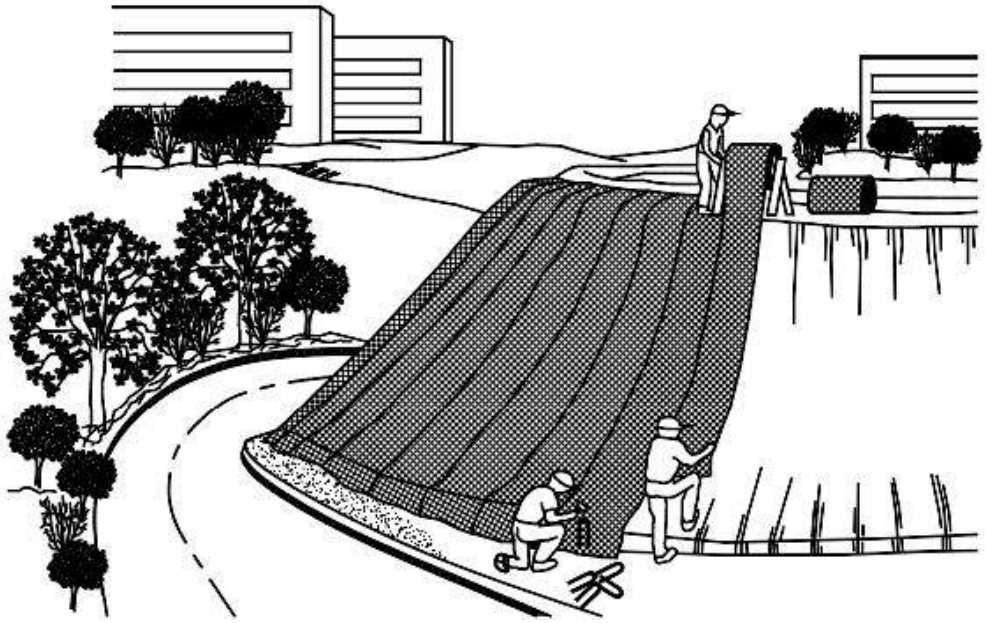


Figura 96. Instalación de mantos para control de erosión en taludes (Tensar Earth Technologies).
Fuente: (Suárez Días, Control de Erosión en Zonas Tropicales, 2001, pág. 195)

- Grapas de anclaje
- Grapas tipo ¨J¨
- Ganchos en ¨U¨
- Estacas de anclaje triangulares

✓ La varilla metálica debe tener un diámetro mínimo de 6,40 mm (1/4 pulg).

✓ Las dimensiones de las grapas deben establecerse de acuerdo con las condiciones locales.

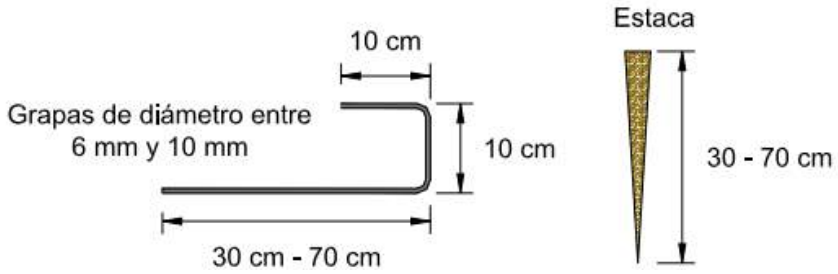


Figura 97. Anclaje
Fuente: (GEOMATRIX , 2014, pág. 7)

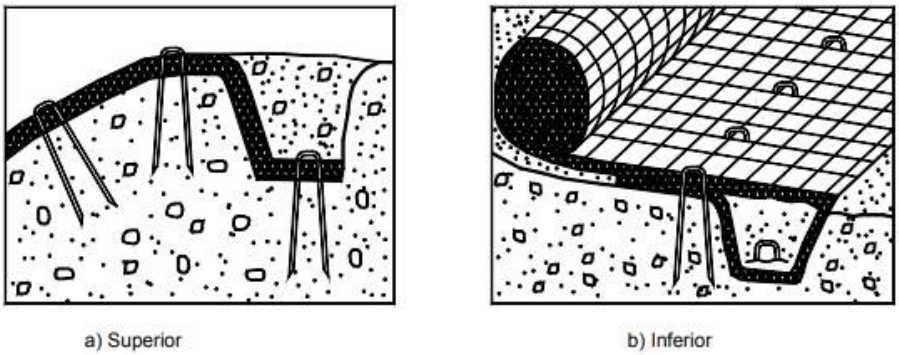


Figura 98. Anclaje del borde de los mantos
Fuente: (Suárez Días, Control de Erosión en Zonas Tropicales, 2001, pág. 211)

6.4.4. Corte del manto y relleno de las trincheras

- ✓ Fijar el manto con las grapas a cada metro en la parte inferior del talud y posteriormente cortar el material con la longitud necesaria de acuerdo a las especificaciones (GEOMATRIX , 2014).

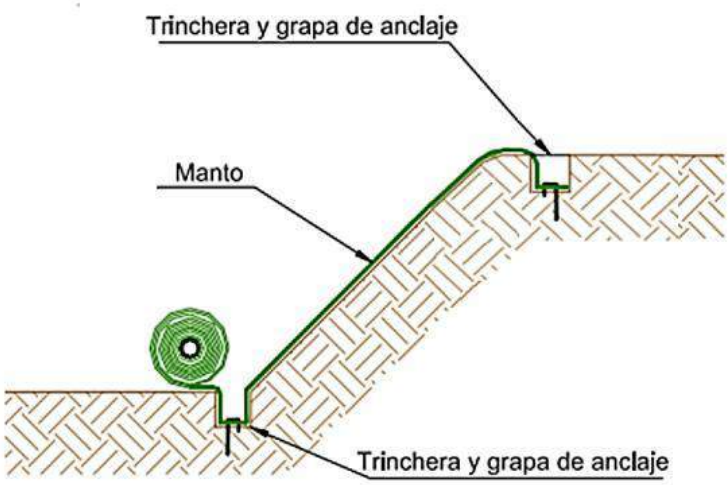


Figura 99. Corte del manto
Fuente: (GEOMATRIX , 2014, pág. 7)

- ✓ Rellenar las zanjas de anclaje con el suelo de la excavación y compactar el material. Se debe construir un cordón de material en la corona del talud a todo lo largo de la superficie para proteger del flujo concentrado de agua sobre la superficie el talud:

para taludes altos interceptar el agua de escorrentía con zanjas, trincheras, cunetas de coronación y obras de recolección sobre el talud (GEOMATRIX , 2014).

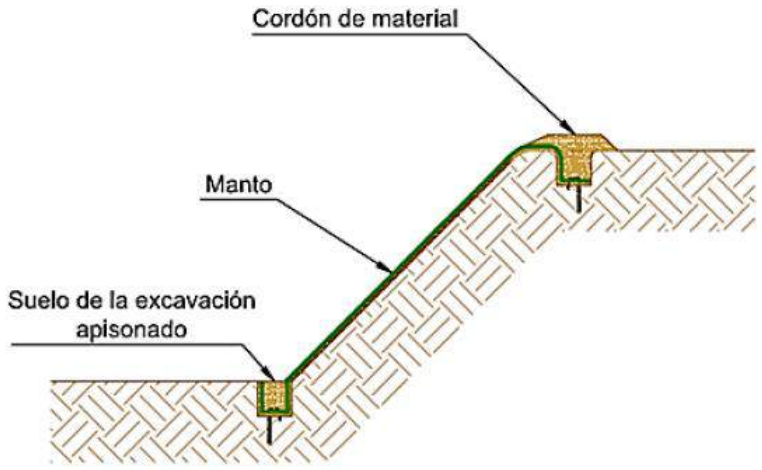


Figura 100. Llenado de trincheras
Fuente: (GEOMATRIX , 2014, pág. 8)

Aseguramiento en las juntas y bordes

- ✓ Entre las franjas del manto mínimo se dejarán traslapos de 0,20 m.
- ✓ Estos se deben asegurar en el terreno mediante grapas de anclaje separadas entre 0,50 m – 1,00 m.

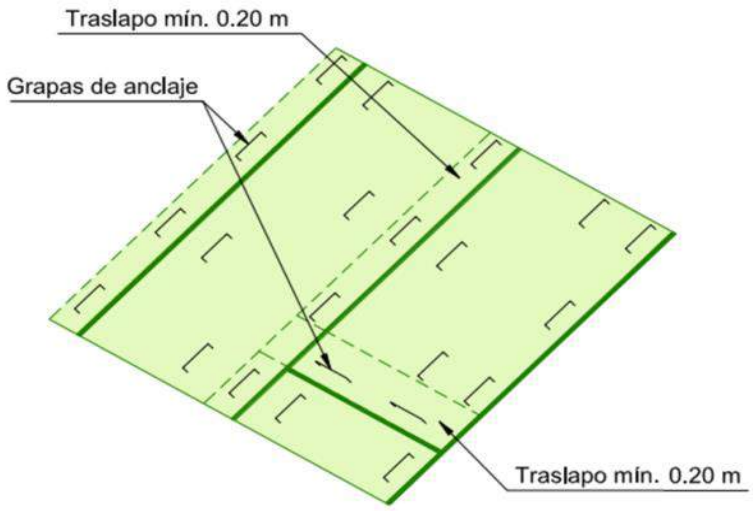


Figura 101. Traslapos y juntas
Fuente: (GEOMATRIX , 2014, pág. 8)

6.4.5. Colocación de grapas intermedias

- ✓ Se debe colocar grapas intermedias dentro del área cubierta garantizando un contacto continuo y ceñido con la superficie del terreno.
- ✓ Se recomienda colocar la cantidad de grapas o estacas de acuerdo con la pendiente del talud como se indica en el siguiente cuadro:

Pendiente	Anclaje
Hasta 3H : 1V	1.35 anclajes / m2
3H : 1V a 2H : 1V	2 anclajes / m2
2H : 1V a 1H : 1V	2 a 4.1 anclajes / m2
Mayor a 1H : 1V	> 4 anclajes / m2

Tabla 30. Frecuencia de anclajes para taludes
Fuente: (GEOMATRIX , 2014).

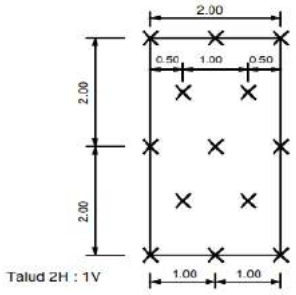


Figura 102. Separación de ganchos de anclaje en la instalación de mantos para control de erosión en taludes
Fuente: (Suárez Días, Control de Erosión en Zonas Tropicales, 2001, pág. 211)

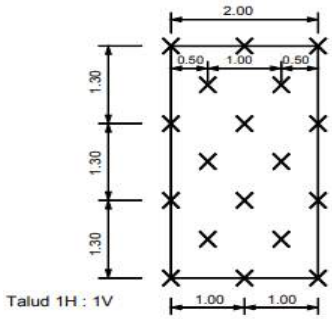


Figura 103. Separación de ganchos de anclaje en la instalación de mantos para control de erosión en taludes
Fuente: (Suárez Días, Control de Erosión en Zonas Tropicales, 2001, pág. 211)

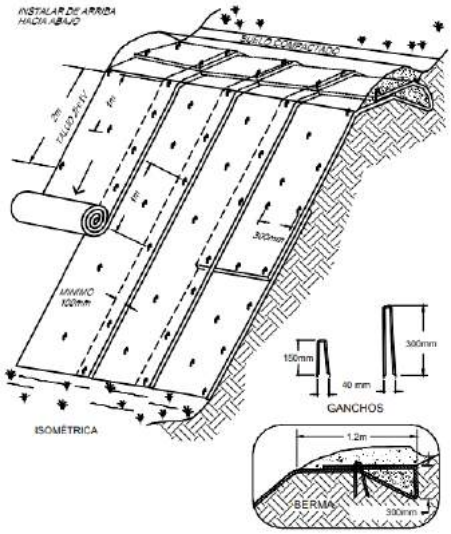


Figura 104. Detalle del procedimiento de instalación de telas y esterillas para control de erosión. (McCullah, 1996)
Fuente: (Suárez Días, Control de Erosión en Zonas Tropicales, 2001, pág. 207)

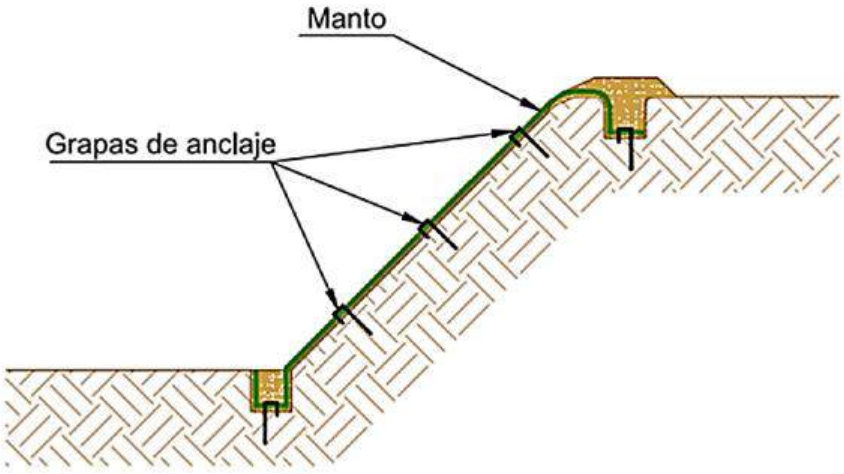


Figura 105. Aseguramiento del manto
Fuente: (GEOMATRIX , 2014, pág. 9)

6.4.6. Riego permanente

- ✓ Regar en forma de lluvia de acuerdo con el tipo de vegetación utilizado y el régimen de precipitaciones de la zona, se deberá definir riegos periódicos.

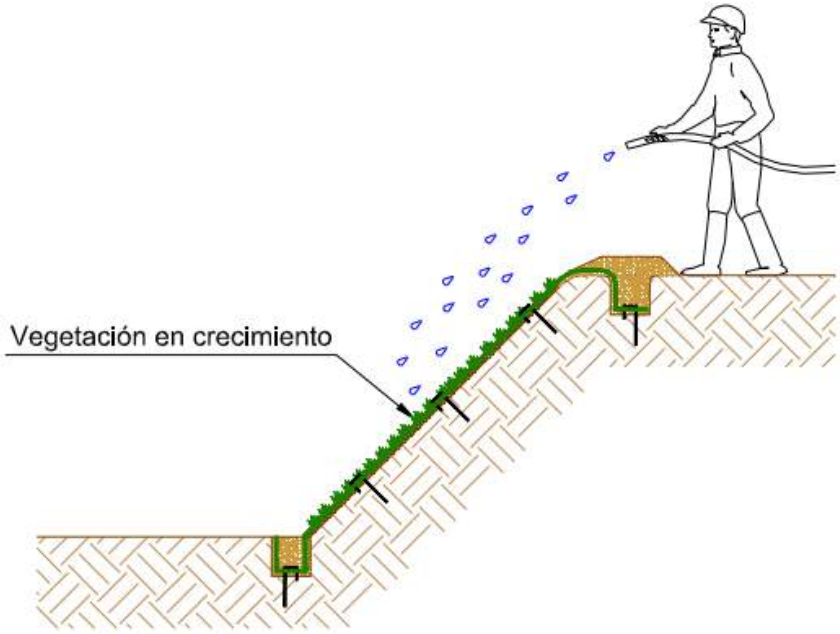


Figura 106. Riego y mantenimiento
Fuente: (GEOMATRIX , 2014, pág. 9)

6.4.7. Esquema general de instalación

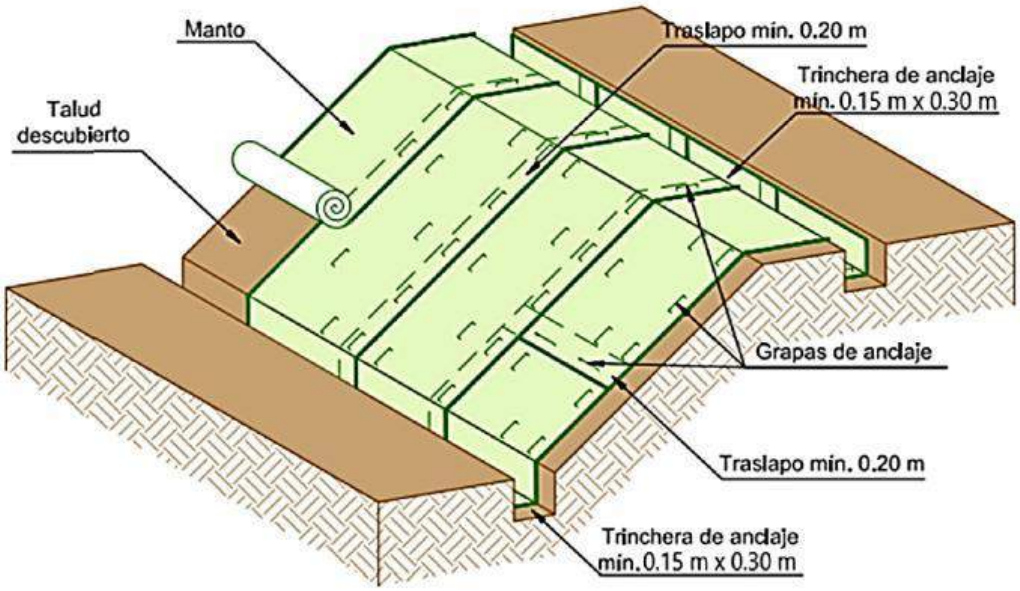


Figura 107. Esquema general de instalación del manto para control de erosión
Fuente: (GEOMATRIX , 2014, pág. 10)

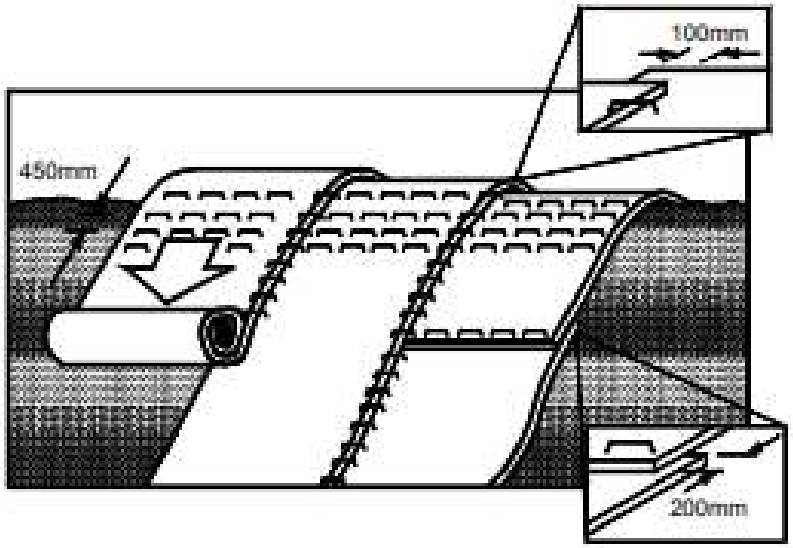


Figura 108. Esquema de la instalación de un manto orgánico o sintético para el control de erosión en un talud
Fuente: (Suárez Días, Control de Erosión en Zonas Tropicales, 2001, pág. 205)

7. CAPÍTULO VII: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

7.1. Metodología de pre-investigación

7.1.1. Generalidades

Balestrini 2000 señala que el marco metodológico ‘’es el conjunto de procedimientos a seguir con la finalidad de lograr los objetivos de la información de forma válida y con una alta precisión’’ (p.44). Siendo así, una estructura que permite la recolección de datos y su posterior validación permitiendo así una correcta interpretación de los mismos en función del problema que se investiga.

7.1.2. Pre investigación

En base al objetivo del presente trabajo, se realizó una pre-investigación con el fin de observar y definir la correcta viabilidad de la investigación. Debido a la complejidad y un sinfín de variables (condiciones naturales, intensidad de lluvia, cantidad de lluvia, viento, tamaño de gotas, frecuencia de recurrencia etc.) que son casi imposibles de controlar o reproducir a escala, la investigación se limita al comportamiento de las partículas de suelo tipo arenoso ante un agente externo (agua) y la influencia de los geomantos para el control de erosión (geomanto de fibra de coco GMAT VT400 y geomanto de fibras sintéticas GMAT DS310) sobre el suelo.

7.1.3. El enfoque cuantitativo

Se utiliza la recolección de datos para contestar preguntas de investigación, y en base a los resultados obtenidos realizar un análisis comparativo entre taludes de arena modelados en laboratorio. Confiando en la medición numérica, el conteo y el uso de la estadística, se establece con exactitud los patrones de comportamiento en una población (Hernández, Fernández, & Baptista, 2003, pág. 12).

El presente trabajo de disertación tiene como objeto el análisis comparativo de taludes de arena con un porcentaje ínfimo de limo, moldeados a 15, 30 y 45 grados. Inducidos a precipitaciones controladas con el objeto de que exista erosión en cada modelo, estudiando la influencia del riego controlado de agua sobre cada espécimen, los mismos que estarán cubiertos con y sin material para el control de erosión.

Se recurre a un diseño experimental de tipo experimento puro, puesto que es el que mejor se adapta a estas necesidades de estudio para conocer a detalle el comportamiento de las estructuras moldeadas.

El diseño experimental busca ‘’medir probabilísticamente la relación causal que se establece entre las variables, y estar en posibilidad de confirmar o rechazar la hipótesis sometida a pruebas’’ (Rojas , 2013, pág. 272).

Por su parte, el diseño de tipo experimento puro son aquellos que reúnen los dos requisitos para lograr el control y la validez interna:

1. Grupos de comparación (manipulación de la variable independiente) (Hernández, Fernández, & Baptista, 2003, pág. 141).
2. Equivalencia de los grupos (Hernández, Fernández, & Baptista, 2003, pág. 141)

Al entender el comportamiento del suelo desde un nivel micro a macro, debido al riego controlado entendido como variable independiente del suelo para analizar los efectos sobre las variables dependientes. Entonces, se puede confirmar que es una investigación de tipo experimento puro, ya que en este análisis se incluyen especímenes de prueba divididos en grupos de ensayo, los cuales unos reciben el trato experimental (recubrimientos) y el otro grupo no, estos serán los especímenes de control.

7.1.4. Enfoque de la investigación

El presente estudio tiene un enfoque cuantitativo pues, se desarrolla con el objeto de analizar y comparar taludes de arena, modelados a 15, 30 y 45 grados, bajo la influencia de riegos controlados induciendo a la erosion en cada modelo y estudiando la influencia del agua que cae sobre cada espécimen los mismos que estarán cubiertos con y sin material para el control de erosion.

En otras palabras se busca examinar y probar una realidad a partir de técnicas de recolección de datos, utilizando y comparando las especificaciones técnicas de fabricación del material, y bibliografía del resultado esperado para probar la calidad de los materiales ensayados.

MATRIZ OPERACIONAL

¿Por qué la investigación?	Objetivos	Hipótesis	Definición y operacionalización de variables
Cuál es la situación ante posibles derrumbes permanentes de los perfiles montañosos es decir taludes y laderas en el distrito metropolitano de quito, sector Guayllabamba.	Análisis comparativo de taludes de arena limosa modeladas a 15, 30 y 45° bajo precipitación induciendo a la erosión en cada modelo, estudiando la influencia de la lluvia simulada sobre cada espécimen los mismos que estarán cubiertos con y sin material para el control de erosión.	El suelo del sector norte del distrito metropolitano de Quito - guayllabamba está compuesto mayormente de arena. Lo cual frente a cualquier alteración meteorológica en específico, cuando erosiona usualmente se presentan deslizamientos que arriesgan vida de personas del sector.	Se describe a continuación en la sección 7.1.6.1.

Tabla 31. Definición y operacionalización de variables.
Fuente: Elaboración Propia

7.1.4.1. Identificación y operacionalización de variables

VARIABLE DEPENDIENTE: Deslizamientos de taludes y erosión del suelo.

Definición conceptual: Los deslizamientos se definen como desplazamientos ladera abajo de masas de terreno, en estado sólido, en consecuencia de una alteración en el equilibro natural de una pendiente.

Definición Operacional: La variable será analizada mediante resultados de mediciones de cantidad de escorrentía infiltración y erosión de suelo.

VARIABLE INDEPENDIENTE: *Precipitación*

Definición conceptual: Proceso natural que modifica y desgasta las propiedades del suelo y rocas debido a causas geológicas exógenas como el agua, viento o actividad biótica (deforestación, construcción, etc.). Así, la degradación del suelo conlleva cambios adversos en propiedades y procesos con el tiempo. Esos cambios pueden ser debidos a la remoción y alteración del equilibrio dinámico del suelo con el medio ambiente debido a perturbaciones naturales o antrópicas. (Espinosa Ramírez, Andrade Limas, Rivera Ortiz, & Romero Díaz, 2011).

Definición Operacional: La variable será analizada mediante información del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador, para la correcta interpretación de valores que se intentarán controlar mediante simulaciones estandarizadas con un mecanismo físico en las muestras de suelo remoldeadas.

7.1.5. Población

La población se define como ‘’ un conjunto de todos los elementos que estamos estudiando, acerca de los cuales intentamos sacar conclusiones’’ (Rubin, Levin, Balderas, Del Valle, & Gómez, 2004, pág. 20).

La población de estudio estará conformada por 3 grupos de muestras de suelo remoldeadas a escala en laboratorio, intentando correlacionar de manera didáctica la geometría del talud para entender el comportamiento de los materiales de mejoramiento de suelo. Suponiendo muestras de lote del área circunscrita de quito Guayllabamba en donde predominan los suelos altos en arena, para la presente investigación se remoldeo en laboratorio muestras con 90% arena y 10% finos como se puede observar en el capítulo 9,5.

- ✓ El primer grupo a ensayar serán de 6 muestras moldeadas con una inclinación de 45º, las cuales se les inducirá simulaciones estandarizadas para un correcto control entre muestras. Donde 2 muestras estarán desnudas, 2 muestras adicionando el material GMAT VT400 y las 2 restantes adicionando el materia GMAT DS310.
- ✓ El segundo grupo a ensayar serán de 6 muestras moldeadas con una inclinación de 30º, las cuales se les inducirá simulaciones estandarizadas para un correcto control entre muestras. Donde 2 muestras estarán desnudas, 2 muestras adicionando el material GMAT VT400 y las 2 restantes adicionando el material GMAT DS310.
- ✓ El tercer grupo a ensayar serán de 6 muestras moldeadas con inclinación de 15º, las cuales se les inducirá simulaciones estandarizadas para un correcto control entre muestras. Donde 2 muestras estarán desnudas, 2 muestras adicionando el material GMAT VT400 y las 2 restantes adicionando el material GMAT DS310.

Cada grupo tendrá el mismo tiempo de ensayo bajo las mismas características de evaluación, con el fin de poder observar la evolución la muestra con y sin recubrimiento.

7.1.6. Muestra y muestreo

"Para Ander-Egg, la muestra es el conjunto de operaciones que se realizan para estudiar la distribución de determinados caracteres en la totalidad de una población, universo o colectivo, partiendo de la observación de una fracción de la población considerada" (Hernández, Fernández, & Baptista, 2003, pág. 175).

También se define como '' es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población'' (Hernández, Fernández, & Baptista, 2003, pág. 175).

Para el presente trabajo se utilizará el método de muestreo probabilístico por racimos, en el cual, de acuerdo con (Hernández, Fernández, & Baptista, 2003, pág. 175) '' implica diferenciar entre la unidad de análisis y la unidad de muestra. La unidad de análisis indica quiénes van a ser medidos, es decir, los participantes o casos a quienes en última instancia vamos a aplicar el instrumento de medición.

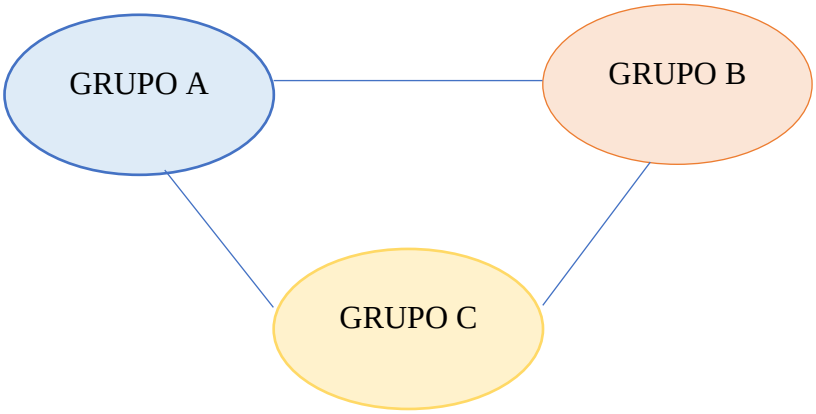
La unidad de la muestra (en este tipo de muestra) se refiere al racimo por medio del cual se logra el acceso a la unidad de análisis. '' (Hernández, Fernández, & Baptista, 2003, pág. 184). Con el fin de que las muestras (suelo) tengan la misma probabilidad de ser escogidas para una modelación en laboratorio, se escogieron las muestras suelo con un gran porcentaje de arena de una cantera cercana al sector.

7.1.7. Técnicas de recolección de datos

La recolección de datos '' es la especificación concreta de los procedimientos, lugares y condiciones de la recolección de datos (…) se analizará y definirá si la investigación será a base de lecturas, documentos, encuestas, u observaciones directas de los hechos. '' (Gómez Bastar, 2012, pág. 57).

La técnica de recolección de datos que se utilizará en la presente investigación será de tipo cuantitativa y es el uso del método observación experimental.

''Esta técnica se usa para profundizar en el conocimiento del comportamiento de la población, ya que elabora datos en condiciones relativamente controladas por el investigador, particularmente porque este puede manipular la o las variables. (…) puede utilizar como instrumento la hoja o ficha de registro de datos. '' (Tamayo Ly & Silva Siesquén, 2021)



Esquema 5. Relación de grupos para posterior evaluación.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 12. Muestras conformantes del grupo A con inclinación 45 grados.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 13. Muestras conformantes del grupo B con inclinación 30 grados.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 14. Muestras conformantes del grupo C con inclinación 15 grados.
Fuente: Elaboración propia

Nos interesa observar y analizar los datos resultantes de las mediciones en cada muestra al final de cada ensayo. Así como el rendimiento del material ante la influencia de las precipitaciones estandarizadas, corroborando las especificaciones técnicas del fabricante.

7.1.8. Instrumentos de recolección de datos

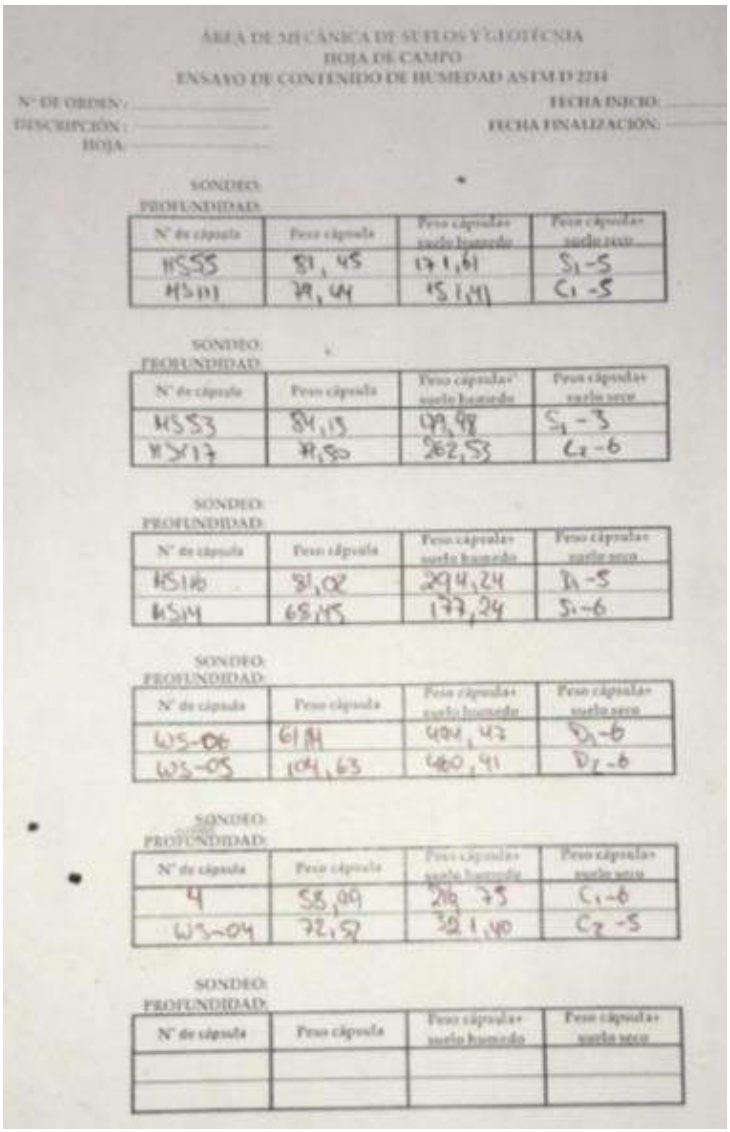
El instrumento de investigación es cualquier recurso del que pueda valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información. De este modo el instrumento sintetiza en sí toda la labor de la investigación, resume los aportes del marco teórico al seleccionar datos que corresponden a los indicadores por lo tanto, a las variables o conceptos utilizados (Sabino, 1992, pág. 88).

Se ha creado una hoja de registro en el software Microsoft Excel con el fin de hacer un seguimiento continuo y diario a la investigación para cada uno de los modelos.

DÍA 1 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):		235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:			19,66mm/día					FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		18/3/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	

Figura 109. Ficha de registro para cada talud.
Fuente: Elaboración propia

El instrumento será la hoja o ficha de registro de datos:



ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNIA
HOJA DE CAMPO
ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D 2216

N° DE ORDEN:
DESCRIPCIÓN:
HOJA:
FECHA INICIO:
FECHA FINALIZACIÓN:

SONDEO:
PROFUNDIDAD:

N° de cápsula	Peso cápsula	Peso cápsula+ suelo húmedo	Peso cápsula+ suelo seco
HS55	81,45	171,61	S1-5
HS111	79,44	151,41	C1-5

SONDEO:
PROFUNDIDAD:

N° de cápsula	Peso cápsula	Peso cápsula+ suelo húmedo	Peso cápsula+ suelo seco
HS53	84,13	179,98	S2-3
HS117	81,80	262,53	C2-6

SONDEO:
PROFUNDIDAD:

N° de cápsula	Peso cápsula	Peso cápsula+ suelo húmedo	Peso cápsula+ suelo seco
HS116	81,02	294,24	S1-5
HS14	68,45	177,24	S1-6

SONDEO:
PROFUNDIDAD:

N° de cápsula	Peso cápsula	Peso cápsula+ suelo húmedo	Peso cápsula+ suelo seco
WS-06	61,84	424,47	D1-6
WS-05	104,63	480,41	D2-6

SONDEO:
PROFUNDIDAD:

N° de cápsula	Peso cápsula	Peso cápsula+ suelo húmedo	Peso cápsula+ suelo seco
4	58,09	210,75	C1-6
WS-04	72,52	321,40	C2-5

SONDEO:
PROFUNDIDAD:

N° de cápsula	Peso cápsula	Peso cápsula+ suelo húmedo	Peso cápsula+ suelo seco

Fotografía 15. Ficha recolección de datos para humedad.
Fuente: Laboratorio de Mecánica de suelos PUCE

7.1.9. Técnicas de procesamientos de datos

La técnica que se utilizará en el procesamiento de los datos será la estadística descriptiva que consiste en ‘’ un conjunto de procedimientos que tienen por objeto presentar masas de datos por medios de tablas, gráficos y/o medidas de resumen’’ (AulaFacil, 2021).

También se utilizará un sistema de procesamiento inteligente.

En el que el proceso inteligente será desarrollado por un dispositivo o software con el fin de corroborar la lógica de los datos resultados de las mediciones al final de cada ensayo.

7.1.10. Herramientas para el procesamiento de datos

Una herramienta es un ‘’ medio físico que nos permite registrar o medir la información’’ (Tamayo & Tamayo, 2003, pág. 190)

Para el proceso de tabulación de datos y arrojo de resultados se empleó el programa Excel Office y el software OPTUM-G para Windows.

7.2. Metodología aplicada al sistema en estudio

7.2.1. Desarrollo de la metodología para simulaciones experimentales

7.2.1.1. Elección del material

Se eligió un suelo tipo arenoso para ser ensayado de una cantera ubicada en San Antonio de Pichincha, cuyas propiedades se pueden apreciar en el capítulo IX. Su elección parte del hecho de que un tipo de talud mayormente conformado con arena como son los del sector de Guayllabamba, suelen ser susceptibles a procesos de erosion o simplemente tienden a sufrir deslizamientos. Por ello se parte de esta problemática para demostrar mediante el presente trabajo de disertación con un fin didáctico la eficiencia de los productos de control de erosion, en específico los productos GMAT VT400 y GMAT DS310 de la empresa ecuatoriana PIVALTEC, y convalidando nuestros resultados con las especificaciones del fabricante.

7.2.1.2. Elección de compactación de suelo

Con el fin de moldear las muestras de taludes que hemos en laboratorio manipulado para lograr condiciones pobres, como la de un material heterogéneo en su mayor masa arena con un porcentaje ínfimo de limos pero a su densidad máxima con el supuesto de que solo de esta manera podremos observar un correcto proceso de erosion durante los ensayos. Para lo cual se plantea en primera instancia compactar cubos de medidas 0.3m x 0.3m x 0.3m a los cuales se les procedería a tallar con las inclinaciones para ensayar, en este caso 15, 30 y 45 grados. A los cuales se busca ensayar con riegos estandarizados en cada muestra con diferente inclinación, con y sin material de mejoramiento.

- ✓ **Compactación con Proctor modificado**
  - ✓ En primera instancia se plantea conformar las muestras con este método, pero después de estudiar el documento: (Cóndor Andrade & Oñate Barreno , 2019). Influencia de la disposición de geomallas en la resistencia del suelo granular

sujeto a la aplicación de una carga axial. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador. Se decide descartar este planteamiento debido a la demostración encontrada en este trabajo de investigación; los ingenieros se plantean en remoldear las muestras por compactación ¨Proctor modificado¨, por lo que observaron que se debía dar una exagerada cantidad de golpes por capa para compactar las dimensiones y llegar a la muestra requerida. Por consiguiente, se descarta este método de compactación y se plantea la compactación por medio de la Máquina Universal Tinius Olsen de 200 Toneladas.

- ✓ ‘’La primera alternativa planteada fue emplear el Proctor Modificado como mecanismo de compactación del suelo en estudio, el material utilizado deberá ser tamizado previamente por el tamiz #4, de manera que se utilice solo el material pasante y se descarte el material retenido en el tamiz #4’’ (Cóndor Andrade & Oñate Barreno , 2019).
- ✓ Para corroborar el adecuado uso de la máquina para compactar nuestros taludes (muestras de ensayo) se procedió a realizar los mismos ensayos que son: Clasificación de suelos, granulometría, proctor modificado y corte directo CD.

- ✓ **Compactación con Máquina Universal Tinius Olsen de 200 Toneladas.**

  La elección por compactación con la máquina universal Tinius Olsen se adapta del trabajo de pre grado en el cual se decide que, la compactación se realiza por capas, en orden ascendente, donde las cuatro primeras capas son de 7 cm y las 3 últimas capas son de 2.1 cm resultando un total de 7 capas compactadas.’’ (Cóndor Andrade & Oñate Barreno , 2019).

  Para llevar a cabo este proceso se inicia preparando el material, en el que se determinó que el porcentaje de humedad óptima es del 15% y las cantidad de suelo necesaria para formar la capa de 7cm es de y para formar la capa de 7 cm es de 30000 gr.



Fotografía 16. Preparación del material para producir condiciones óptimas.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 17. Preparación del material para producir condiciones óptimas.
Fuente: Elaboración propia

Una vez determinada la cantidad de material necesario por capa de 3 kg se coloca una placa de madera de 14 cm de espesor la cual permite la compactación del material transmitiendo la carga axial de la máquina hacia el suelo, debido a que los soportes laterales de la Máquina Universal no permite que la placa de madera y el cabezal de la máquina se topen, fue necesario añadir un cilindro metálico que permite al cabezal de la máquina alcanzar la muestra de suelo (Cóndor Andrade & Oñate Barreno , 2019).



Fotografía 18. Sistema de transmisión de carga a la muestra.
Fuente: Elaboración propia

Una vez acoplados el cabezal de la máquina con la placa de madera, el proceso de compactación consiste en aplicar una secuencia de cargas al suelo, siendo estas de: 30.000, 50.000 y 100.000 Kgf para cada capa de 7 cm y una única carga de 90.000 Kgf para cada capa de 2.1 cm (Cóndor Andrade & Oñate Barreno , 2019).



Fotografía 19. Inicio de compactación por capas.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 20. Mediciones de capas una vez enrasadas.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 21. Mediciones de capas una vez enrasadas.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 22. Compactación por capas hasta altura 34.3 cm.
Fuente: Elaboración propia

Una vez compactadas las 7 capas hasta llegar a la altura 34.3cm se procedió a sacar la muestra para tallar y formar las inclinaciones de taludes de estudio.

Debido al peso excesivo de la caja metálica reforzada que es la que resiste la presión de la Máquina Universal Tinius Olsen de 200 Toneladas, se usó la ayuda de un brazo mecánico para levantar la muestra y proceder a sacarla del molde.

Cabe recalcar que se usaron pantallas de policarbonato rociadas de desengrasante de cilindros de hormigón con el fin de que no se pegue la muestra al molde y facilite este proceso.



Fotografía 23. Ingreso de brazo mecánico a la prensa.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 24. Muestra transportada a carro de carga para desmoldar.
Fuente: Elaboración propia

Una vez que la muestra ha sido movida al sitio planeado para desmoldar la caja sobre un coche de carga para facilitar el transporte de un sitio a otro, al momento que se requiere destornillar los pernos de refuerzo para abrir el molde se pudo visualizar que la muestra estaba pegada en las paredes, debido a la presión ejercida por la Máquina Universal Tinius Olsen de 200 Toneladas.

Por esta razón se procede a atornillar nuevamente la caja con el fin de ayudarnos de la Máquina Universal Tinius Olsen de 200 Toneladas para desmoldar la muestra. Se procedió a cargar nuevamente en el brazo mecánico y transportar a la prensa, colocando la caja de forma invertida y con filos alrededor del molde a desnivel de manera que la prensa ejerza fuerza la cual sea capaz de hacer resbalar la muestra en sentido vertical hacia abajo.



Fotografía 25. Muestra transportada nuevamente a la prensa con filos a desnivel, para desmoldar.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 26. Prensa ejerciendo presión para desmoldar.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 27. Derrumbe de muestra al desmoldar.
Fuente: Elaboración propia

Debido a la conformación del material de muestra que en su mayoría está compuesto de arena, es muy complicado desmoldar una muestra intacta, debido a las propiedades del suelo se concluye que no se podrá conformar la muestra de esta manera, y se exige buscar otras alternativas.

Después de analizar los inconvenientes presentados durante los intentos de remoldear una muestra en laboratorio, se plantea conformar pequeños terraplenes de prueba, de la siguiente manera:

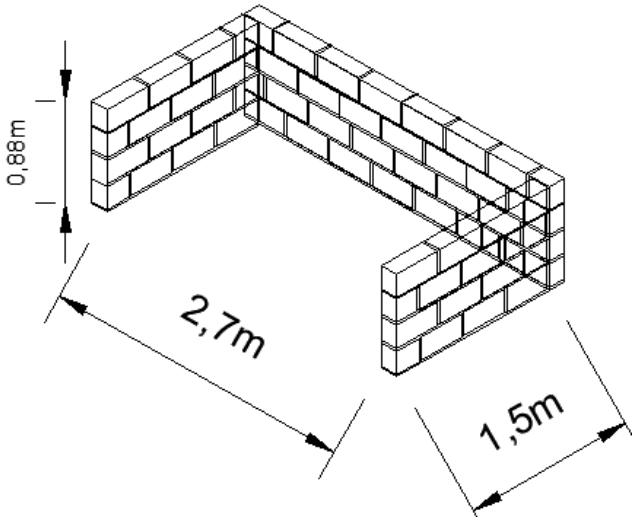


Figura 110. Construcción de la estructura.
Fuente: Elaboración propia

Se procedió a construir un cuarto pequeño el cual nos sirve para delimitar la zona en la que se conformarán los terraplenes para lo cual se adquirieron bloques de 40x20x20cm.



Fotografía 28. Material para delimitación de terraplén.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 29. Construcción de la estructura del terraplén.
Fuente: Elaboración propia

Una vez construido las paredes que funcionaran como guías delimitantes del terraplén de prueba, se procede a la adquisición de media volqueta de la misma cantera de San Antonio de Pichincha. Suelo con el cuál una vez realizado el ensayo de proctor modificado se obtiene su respectiva curva de compactación, en donde la densidad máxima g/cm3 =1.644 y su humedad óptima es de 15% (revisar el inciso 9,6). Con estos valores procedemos a obtener la cantidad necesaria de agua con la cual humedecer a nuestra arena con el fin de obtener el porcentaje de densidad máxima.

Después de ser descargado el material de la volqueta se procedió a tomar las muestras para sacar los datos de las humedades:



Fotografía 30. Descarga de material para conformación de terraplén de prueba.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 31. Secado de muestras con el fin de obtener la humedad natural del suelo.
Fuente: Elaboración propia.

Humedad del suelo:

$$W_o = \frac{W_w}{W_{seco}}\ x\ 100$$

$$\boldsymbol{W_o = \frac{Peso\ Inicial\ - Peso\ Seco}{Peso\ Seco}\ x\ 100}$$

$$W_1 = \frac{(496{,}6\ - 253{,}7) - (488{,}2 - 253{,}7)}{(488{,}2\ - 253{,}7)}\ x\ 100$$

$$W_1 = 3{,}582\%$$

$$W_2 = \frac{(658{,}9\ - 325{,}6) - (646{,}2 - 325{,}6)}{(646{,}2\ - 325{,}6)}\ x\ 100$$

$W_2 = 3{,}96\%$

$$W_3 = \frac{(498{,}2\ - 253{,}9) - (488{,}9 - 253{,}9)}{(488{,}9\ - 253{,}9)}\ x\ 100$$

$W_3 = 3{,}957\%$

$\boldsymbol{W_{PROMEDIO}} = 3{,}833\%$

Datos:

$\gamma_{max} = 1{,}646\ gr/cm^3$

$W_{opt} = 15\%$

$V_{capa} =\ 255\ x\ 125\ x\ 15 = 478125\ cm^3$

$W_{volqueta} = 3{,}833\%$

$$\boldsymbol{\gamma_{húmeda} = \gamma_{max}\left(1 + \frac{w_{opt}}{100}\right)}$$

$$\gamma_{húmeda} = 1{,}646\ \left(1 + \frac{15\%}{100}\right)$$

$\gamma_{húmeda} = 1{,}89\ gr/cm^3$

$\boldsymbol{M_{húmeda} =\ \gamma_{humeda}\ x\ V_{capa}}$

$M_{húmeda} =\ 1{,}89\ x\ 478125$

$M_{húmeda} =\ 903656{,}25\ gr$

$M_{húmeda} =\ 903{,}66\ kg$

$$\boldsymbol{M_{seca} = \frac{M_{hum}}{1 + \frac{w_{opt}}{100}}}$$

$$M_{seca} = \frac{903{,}66}{1 + \frac{15\%}{100}}$$

$$M_{seca} = 785{,}79\ kg$$

$$\boldsymbol{M_{capa} = M_{seca}\left(1 + \frac{w_{volqueta}}{100}\right)}$$

$$M_{capa} = 785{,}79\left(1 + \frac{3{,}833}{100}\right)$$

$$M_{capa} = 815{,}909\ kg$$

$$\boldsymbol{M_{agua} = \frac{(w_{opt} - w_{saco})x\ M_{capa}}{100 + w_{saco}}}$$

$$M_{agua} = \frac{(15 - 3{,}833)x\ 815{,}909}{100 + 3{,}833}$$

$$M_{agua} = 87{,}749\ kg$$

$1000\ kg\ -1\ m^3$

$87{,}749kg\ -X$

$X = 0{,}0877\ m^3\ de\ agua$

$0{,}0877\ m^3\ -0{,}478\ m^3$

$X\ -4{,}5\ m^3$

$X = 0{,}8256\ m^3\ de\ agua$



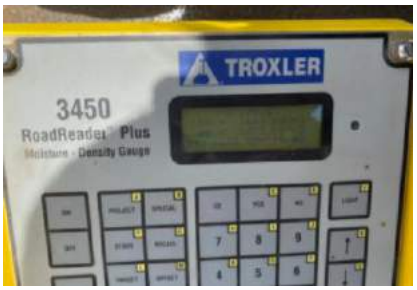
Fotografía 32. Hidratación del suelo para llegar a su densidad máxima una vez compactado.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 33. Compactación del suelo con maquinaria liviana en capas de 20cm.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 34. Control de compactación en cada capa con Densímetro Nuclear.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 35. Resultados de control de compactación con densímetro nuclear
% Compactación 100.2%.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 36. Inicio de tallado de la muestra en su ángulo correspondiente 45º.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 37. Inicio de tallado de la muestra en su ángulo correspondiente 45º control con nivel, plomada y enrasado de muestra.
Fuente: Elaboración propia

Primero se procedió en recortar los biomantos en rectángulos de 50cm x 1m de largo





Fotografía Fotografía 38 y 39. Recorte de geomantos.
Fuente: Elaboración propia.

Para la instalación de los geomantos se utilizaron grapas de 5cm de largo por 4cm de ancho.



Fotografía 40. Grapas de anclaje.
Fuente: Elaboración propia.

Las grapas se instalaron 3 en la parte superior y 6 a cada lado de los mantos.



Fotografía 41. Se ancla el material geosintético en base a Guía de Uso e instalación de Mantos Permanentes para Control de Erosión y Refuerzo de Vegetación TRM.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 42. Se ancla el material geosintético en base a Guía de Uso e instalación de Mantos Permanentes para Control de Erosión y Refuerzo de Vegetación TRM.
Fuente: Elaboración propia

Se repite el mismo procedimiento de preparación para cada grupo de muestras, una vez realizado el mismo proceso para los 3 grupos quedan preparadas las muestras para su respectivo ensayo de la siguiente manera.



Fotografía 43. Grupo de muestra A 45º
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 44. Grupo de muestra B 30º.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 45. Grupo de muestra C 15º.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 46. Instalación del simulador de lluvia preparación de equipo.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 47. Instalación del simulador de lluvia, ensayo iniciado.
Fuente: Elaboración propia

7.3. Elección de la metodología para la compactación de los modelos

Una vez que se han realizado los 3 intentos de conformación de las muestras concluimos que: para una mayor factibilidad en la conformación de los especímenes a escala, optimización del tiempo respecto a los otros dos intentos y menor costo de la obra, la técnica más apta es compactar los especímenes con una plancha compactadora de 5.5HP. Construyendo terraplenes de prueba donde se describen en la sección 10.7.1. Verificando que el porcentaje de compactación sea mayor al %95 en conformidad a la norma (Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 - MTOP, 2013).

- Para los rellenos que se requieran, se utilizarán suelos de las características definidas en 6.102.5.2, las que serán avaladas por los correspondientes certificados de calidad emitidos por el Laboratorista aprobado. Los rellenos avanzarán por capas de 0,20 m de espesor, las que se compactarán, al menos, al 95% de la D.M.C.S., según el Método 3.305.2.1. ó el 80% de la densidad relativa, según Método 3.314.3

Figura 111. Procedimientos de trabajo.
Fuente: (Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 - MTOP, 2013, pág. 49).

7.3.1. Método prueba y error

Con el método de compactación ya elegido se procedió a realizar grupos para los modelos teniendo así: grupos A, grupo B y grupo C.

Los cuales, se encuentran conformados de la manera en que se indica en la siguiente tabla.

Grupo A (15 GRADOS)	• MODELO AD1 • MODELO AC1 • MODELO AS1 • MODELO AD2 • MODELO AC2 • MODELOS AS2
	• MODELO BD1

Grupo B (30 GRADOS)	• MODELO BC1 • MODELO BS1 • MODELO BD2 • MODELO BC2 • MODELO BS2
Grupo C(45 GRADOS)	• MODELO CD1 • MODELO CC1 • MODELO CS1 • MODELO CD2 • MODELO CC2 • MODELO CS2

Tabla 32. Distribución de grupos a ensayar.
Fuente: Elaboración Propia

GRUPO A

El grupo A conforman las muestras de laboratorio perfiladas con ángulo de 15 grados.

- ✓ **MODELO AD1**

  Talud compactado y perfilado con ángulo de 15 grados, desnudo sin refuerzo, preparado para ser ensayado con condiciones específicas. Muestra número 1

- ✓ **MODELADO AC1**

  Talud compactado y perfilado con ángulo de 15 grados, reforzado con material **GMAT VT400**, preparado para ser ensayado con condiciones específicas. Muestra número 1

- ✓ **MODELADO AS1**

  Talud compactado y perfilado con ángulo de 15 grados, reforzado con material **GMAT DS310,** preparado para ser ensayado con condiciones específicas. Muestra número 1

- ✓ **MODELO AD2**

  Talud compactado y perfilado con ángulo de 15 grados, desnudo sin refuerzo, preparado para ser ensayado con condiciones específicas. Muestra número 2.

- ✓ **MODELADO AC2**

  Talud compactado y perfilado con ángulo de 15 grados, reforzado con material **GMAT VT400**, preparado para ser ensayado con condiciones específicas. Muestra número 2.

- ✓ **MODELADO AS2**

Talud compactado y perfilado con ángulo de 15 grados, reforzado con material **GMAT DS310,** preparado para ser ensayado con condiciones específicas. Muestra número 2.

GRUPO B

El grupo B conforman los taludes perfilado con ángulo de 30 grados.

- ✓ **MODELO BD1**

  Talud compactado y perfilado con ángulo de 30 grados, desnudo sin refuerzo, preparado para ser ensayado con condiciones específicas. Muestra número 1.

- ✓ **MODELADO BC1**

  Talud compactado y perfilado con ángulo de 30 grados, reforzado con material **GMAT VT400**, preparado para ser ensayado con condiciones específicas. Muestra número 1.

- ✓ **MODELADO BS1**

  Talud compactado y perfilado con ángulo de 30 grados, reforzado con material **GMAT DS310,** preparado para ser ensayado con condiciones específicas. Muestra número 1.

- ✓ **MODELO BD2**

  Talud compactado y perfilado con ángulo de 30 grados, desnudo sin refuerzo, preparado para ser ensayado con condiciones específicas. Muestra número 2.

- ✓ **MODELADO BC2**

  Talud compactado y perfilado con ángulo de 30 grados, reforzado con material **GMAT VT400**, preparado para ser ensayado con condiciones específicas. Muestra número 2.

- ✓ **MODELADO BS2**

  Talud compactado y perfilado con ángulo de 30 grados, reforzado con material **GMAT DS310,** preparado para ser ensayado con condiciones específicas. Muestra número 2.

GRUPO C

El grupo C conforman los taludes perfilado con ángulo de 45 grados.

- ✓ **MODELO CD1**

Talud compactado y perfilado con ángulo de 45 grados, desnudo sin refuerzo, preparado para ser ensayado con condiciones específicas. Muestra número 1.

- ✓ **MODELADO CC1**

  Talud compactado y perfilado con ángulo de 45 grados, reforzado con material **GMAT VT400**, preparado para ser ensayado con condiciones específicas. Muestra número 1.

- ✓ **MODELADO CS1**

  Talud compactado y perfilado con ángulo de 45 grados, reforzado con material **GMAT DS310,** preparado para ser ensayado con condiciones específicas. Muestra número 1.

- ✓ **MODELO CD2**

  Talud compactado y perfilado con ángulo de 45 grados, desnudo sin refuerzo, preparado para ser ensayado con condiciones específicas. Muestra número 2.

- ✓ **MODELADO CC2**

  Talud compactado y perfilado con ángulo de 45 grados, reforzado con material **GMAT VT400**, preparado para ser ensayado con condiciones específicas. Muestra número 2.

- ✓ **MODELADO CS2**

  Talud compactado y perfilado con ángulo de 45 grados, reforzado con material **GMAT DS310,** preparado para ser ensayado con condiciones específicas. Muestra número 2.

En resumen, se conforman 18 muestras en laboratorio las cuales serán ensayadas con riegos de agua estandarizados, teniendo dos muestras por cada tipo de recubrimiento y dos desnudas, para cada inclinación con el objetivo de obtener la mayor cantidad de datos para su análisis.

7.4. Simulador de condiciones atmosféricas

Para este proyecto de disertación se opta por simular la lluvia de manera estandarizada tomando como referencia los datos provistos por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

Se adapta una estructura normalizada que permite calibrar las condiciones requeridas para este ensayo, se explica a detalle en el capítulo X. Esta estructura

tiene la capacidad de regular y calibrar factores como: intensidad de lluvia, diámetro de gota, altura de caída, tiempo de riego y energía cinética.

El factor intensidad de lluvia, fue calculado a partir de los datos obtenidos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, datos de estaciones que fueron solicitadas según disponibilidad y por recomendación de la entidad en un periodo de 10 últimos años. Fueron proporcionados datos de 3 estaciones circundantes al sector.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Precipitación Total Mensual (mm) 09/01/2019

SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS

NOMBRE: LA TOLA CODIGO: M0002

PERIODO: 2006 - 2017 LATITUD: 0G 13' 54.44" S LONGITUD: 78G 22' 13.56"W ELEVACION: 2480.00

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
2006	42.4	74.8	211.8	168.0	30.9	45.6	4.6	3.0	11.0	101.3	153.0	166.4	1012.8	84.4
2007	69.2	42.5	155.6	141.3	50.7	19.7	3.6	13.1	22.3	143.4	185.1	28.6	875.1	72.9
2008	86.4	148.2	198.6	135.9	131.7	60.2	2.4	22.1	25.4	186.7	73.8	108.4	1179.8	98.3
2009	101.4	48.5	152.9	70.3	46.2	29.7	14.9	0.1	9.9	121.5	55.0	96.6	747.0	62.2
2010	15.9	83.0	12.1	163.4	100.4	40.7	69.6	29.5	79.1	66.4	170.4	107.6	938.1	78.1
2011	34.8	158.9	116.7	233.2	61.4	19.5	46.6	43.3	35.5	77.8	53.1	60.8	941.6	78.4
2012	76.9	59.8	95.1	114.4	16.3	8.2	1.5	2.0	53.3	70.2	235.9	59.8	793.4	66.1
2013	17.8	159.8	73.1	103.1	95.2	0.3	4.5	36.3	24.4	77.9	51.6	49.8	693.8	57.8
2014	66.5	65.7	131.4	36.3	116.0	10.7	0.8	0.4	46.9	130.5	44.5	49.3	699.0	58.2
2015	54.2	78.5	123.1	57.3	33.0	2.0	16.8	2.0	16.8	123.7	45.2	2.5	555.1	46.2
2016	57.3	4.2	112.3	191.3	42.7	26.3	6.4	5.6	46.3	98.0	30.0	74.7	695.1	57.9
2017	203.8	74.3	230.7	107.7	133.6	63.9	0.8	29.5	25.5	124.1	20.3	153.6	1167.8	97.3
suma	826.6	998.2	1613.4	1522.2	858.1	326.8	172.5	186.9	396.4	1321.5	1117.9	958.1	10298.6	858.2
media	68.8	83.1	134.4	126.8	71.5	27.2	14.3	15.5	33.0	110.1	93.1	79.8	858.2	71.5
minima	15.9	4.2	12.1	36.3	16.3	0.3	0.8	0.1	9.9	66.4	20.3	2.5		0.1
maxima	203.8	159.8	230.7	233.2	133.6	63.9	69.6	43.3	79.1	186.7	235.9	166.4		235.9

Precipitación Total Mensual (mm) 09/01/2019

Figura 112. Datos de precipitaciones mensuales de los últimos 10 años Estación LA TOLA M0002.
Fuente: (INAMHI, 2020)

ESTACIÓN LA TOLA M0002											
Mes de Noviembre 2012 (Precipitación mm)											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jull	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
76,90	59,80	95,10	114,40	16,30	8,20	1,50	2,00	53,30	70,20	235,90	59,80

Figura 113. Datos de precipitaciones mensuales de los últimos 10 años Estación LA TOLA M0002.
Fuente: (INAMHI, 2020)

Precipitación Total Mensual (mm) 09/01/2019

SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS

NOMBRE: NAYON GRANJA SANTA ANA - PUCE CODIGO: M1156

PERIODO: 2006 - 2017 LATITUD: 0G 10' 37.26" S LONGITUD: 78G 25' 37.87"W ELEVACION: 2395.00

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
2007	71.2	77.1	163.0	192.0	46.9	27.3	7.9	8.7	1.0	144.2	152.8	36.2	928.3	77.3
2008	112.3	141.9	166.6	153.6	114.6	28.9	6.4	28.4	66.4	219.5	67.8	133.0	1239.4	103.2
2009	146.6	101.6	136.2	83.8	29.9	13.3	1.1	0.7	42.2	113.6	21.2	109.8	800.0	66.6
2010	23.8	45.5	25.3	97.2	108.9	31.0	87.5	41.4	47.8	32.3	157.7	144.7	843.1	70.2
2011	62.1	128.8	123.2	345.6	45.1	16.1	50.5	27.9	32.1	67.4	82.2	75.2	1056.2	88.0
2012	120.7	109.2	79.6	181.9	17.6	22.2	0.0	3.2	19.1	88.9	174.4	33.2	850.0	70.8
2013	25.8	203.6	61.1	101.4	67.6	0.0	2.1	11.7	25.6	93.0	56.5	38.6	687.0	57.2
2014	99.2	50.7	133.6	56.7	135.3	6.3	1.0	1.4	94.1	178.0	76.1	59.8	892.2	74.3
2015	85.4	87.4	114.2	55.2	59.6	3.5	13.7	0.0						
suma	747.1	945.8	1002.8	1267.4	625.5	148.6	170.2	123.4	328.3	936.9	788.7	630.5	7715.2	642.9
media	83.0	105.0	111.4	140.8	69.5	16.5	18.9	13.7	41.0	117.1	98.5	78.8	894.5	74.5
minima	23.8	45.5	25.3	55.2	17.6	0.0	0.0	0.0	1.0	32.3	21.2	33.2		0.0
maxima	146.6	203.6	166.6	345.6	135.3	31.0	87.5	41.4	94.1	219.5	174.4	144.7		345.6

Precipitación Total Mensual (mm) 09/01/2019

Figura 114. Datos de precipitaciones mensuales de los últimos 10 años. Estación NAYÓN PUCE. M1156.
Fuente: (INAMHI, 2020)

NOMBRE: YARUQUI INAMHI CODIGO: M0346

PERIODO: 2006 - 2017 LATITUD: 0G 9' 35" S LONGITUD: 78G 18' 55" W ELEVACION: 2600.00

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
2006	44.5	114.9	142.6	291.3	56.0	46.4	3.4	2.8	1.5	97.5	233.4	154.3	1188.6	99.0
2007	44.7	42.6	108.0	193.3	80.2	19.5	11.6	11.8	6.8	106.5	89.3	28.9	743.2	61.9
2008	72.5	97.1	207.1	121.7	113.9	38.2	6.1	32.1	39.4	144.4	75.1	94.0	1041.6	86.8
2009	141.2	115.2	111.4	68.3	132.4	21.9	1.0	0.0	3.3	87.8	8.7	54.4	745.6	62.1
2010	10.7	37.4	26.4	112.1	78.8	38.2	74.4	12.7	81.4	24.7	119.7	133.6	750.1	62.5
2011	66.1	78.2	108.5	225.0	43.1	24.8	61.9	34.7	31.5	73.9	47.5	73.4	868.6	72.3
2012	78.8	89.9	73.4	133.2	14.0	4.9	0.7	2.0	7.9	48.8	82.8	26.2	562.6	46.8
2013	31.7	130.1	44.7	100.2	88.9	0.0	2.9	5.5	29.9	78.7	29.4	58.0	600.0	50.0
2014	125.5	80.0	111.2	96.0	120.2	5.2	3.7	0.5	46.3	147.8	56.7	21.6	814.7	67.8
2015	46.3	52.9	102.6	63.2	34.7		18.2		1.2	106.9	54.8	5.5		
2016	37.3		64.8											
suma	699.3	838.3	1100.7	1404.3	762.2	199.1	183.9	102.1	249.2	917.0	797.4	649.9	7903.4	658.6
media	63.5	83.8	100.0	140.4	76.2	22.1	18.3	11.3	24.9	91.7	79.7	64.9	777.3	64.7
minima	10.7	37.4	26.4	63.2	14.0	0.0	0.7	0.0	1.2	24.7	8.7	5.5		0.0
maxima	141.2	130.1	207.1	291.3	132.4	46.4	74.4	34.7	81.4	147.8	233.4	154.3		291.3

Figura 115. Datos de precipitaciones mensuales de los últimos 10 años. Estación YARUQUI M0346.
Fuente: (INAMHI, 2020)

Después de solicitar al Instituto nacional de meteorología e hidrología registro de datos de precipitaciones cercanos a la zona de la problemática de estudio, se usan los datos registrados de la estación LA TOLA M0002, ya que registra la precipitación más alta en los últimos diez años, la problemática del presente trabajo de disertación tiene como núcleo las pérdidas tanto económicas como sociales en los últimos años.

Una vez estudiados los datos de precipitación mensuales en los últimos 10 años se puede observar que en el año 2012, del mes de noviembre específicamente se tuvo la mayor precipitación en mm registrada, por ende la presente investigación se centra en esta fecha por lo que se decide nuevamente pedir datos, en este caso diario de este año en particular. En dónde;

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Precipitación Total Diaria (mm) 17/02/2021

SERIES DE DATOS METEOROLOGICOS

NOMBRE: LA TOLA CODIGO: M0002
PERIODO: 2012 - 2012 LATITUD: 0G 13' 54.44" S LONGITUD: 78G 22' 13.56"W ELEVACION: 2480.00

VALORES DIARIOS

ANIO	DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2012	1	0.0	0.2	4.1	1.9	11.0	0.1	1.8	5.3	11.0	7.7	0.0	0.0	0.0	0.8	0.7	3.8	0.0	3.5	1.0	4.9	2.6	2.5
2012	2	0.0	0.1	0.2	0.0	0.3	0.8	3.4	2.1	0.0	0.2	11.5	0.0	1.0	2.3	1.9	0.0	2.4	0.2	0.9	1.2	0.3	2.8
2012	3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	15.0	2.2	2.3	0.0	7.8
2012	4	0.0	0.0	0.0	10.6	1.8	3.1	11.7	17.1	7.8	15.7	5.9	0.5	0.0	10.3	0.0	0.3	16.3	6.0	0.1	2.0	2.3	1.6
2012	5	1.6	9.8	0.0	0.0	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	1.6	1.0	0.0	0.0
2012	6	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
2012	7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
2012	8	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012	9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.0	0.0
2012	10	0.0	0.0	6.5	5.0	8.4	16.8	1.9	0.3	0.0	0.0	0.8	0.0	0.3	1.7	2.1	1.2	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
2012	11	0.0	0.0	3.4	16.8	62.6	0.9	0.0	0.0	0.2	1.5	25.0	0.7	15.1	45.0	31.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	0.5
2012	12	7.2	0.0	0.0	1.3	15.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0

Figura 116. Datos de precipitaciones diarias año 2012.
Fuente: (INAMHI, 2020)

- ✓ Observamos que en el mes de noviembre del año 2012 cae la mayor precipitación registrada en 12 días un valor de 235.9mm (precipitaciones distintas en tiempos diferentes).

- ✓ Para esta investigación se asume que, los 12 días de riego son continuos y se calcula una intensidad de lluvia con el valor de 235.9mm (valor máximo registrado) en el mes de noviembre, con el fin de que se pueda estandarizar riegos con un valor que permita la mayor afección a la muestra en terreno.
- ✓ Una vez calculado el valor de intensidad de lluvia se procedió a regular la estructura de tal manera que la misma cantidad precipitada calculada, fuera la impuesta ante las muestras a ensayar.
- ✓ Para ensayar con las intensidades calculadas se procedió a diseñar un sistema de riego mecánico y automatizado.
- ✓ Este sistema de riego mecánico cubre el área en planta de cada uno de los modelos a ensayar por grupo, es decir riega un área neta de 42cm x 42cm.

7.5. ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES

7.5.1. Medición de precipitaciones

En el Ecuador las intensidades de lluvias se obtienen gracias a dos tipos de estaciones que son las siguientes:

- **Estación pluviométrica:** ‘’ es un instrumento destinado a medir las alturas de agua de las precipitaciones, cuya superficie receptora es de doscientos centímetros cuadrados de superficie, bajo la suposición de que las precipitaciones están uniformemente distribuidas sobre una superficie horizontal impermeable y que no están sujetas a evaporación. Se mide las precipitaciones a una altura de un metro con veinte centímetros para evitar corrientes turbulentas a baja altura y salpicado en la superficie terrestre’’. (INAMHI, 2011).
- **Estación Pluviografica:** ’’Instrumento similar al pluviómetro que incluye un dispositivo para registrar en forma continua y grafica las alturas de las precipitaciones en un periodo determinado’’ (INAMHI, 2011).

Calculo para la precipitación de lluvia en el simulador

En la figura se observa un diagrama de la estructura en planta acotada, se puede apreciar el área de ensayo, es decir toda el área a estudiar bajo precipitaciones inducidas máximas de la ciudad de Quito, anteriormente mostrada.

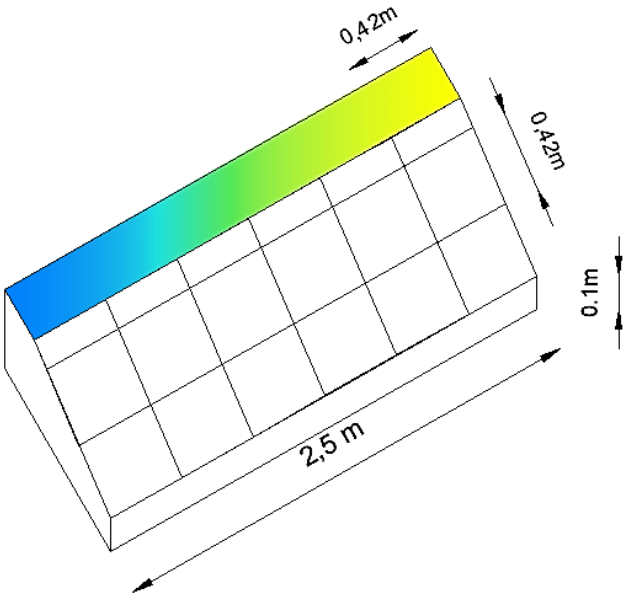


Figura 117. Área de ensayo 0,42 m x 0,42 m.
Fuente: (Elaboración Propia)

Para simular la precipitación real caída en nuestros modelos físicos que represente la precipitación máxima registrada en el INAMHI, se procedió de esta manera:

Datos:

$$Unidad\ del\ Pluviógrafo = mm$$

$$mm = l/mm^2 \quad \text{(INAMHI, 2019)}$$

$$Area\ de\ ensayo = 0{,}42\ x\ 0{,}42 = 0{,}1742\ m^2$$

Conocida el área de ensayo 0,1742 m^2, entonces se puede decir que se debe regar un 17,42% del área de ensayo correspondiente a una medida.
De acuerdo a los registros proporcionados por el INAMHI:

$$Mes = Noviembre\ 2012$$

Sí: $mm = l/mm^2$ (INAMHI, 2019)

Recordando que la unidad de medida ‘’ mm’’ equivale a $mm = l/mm^2$, y conociendo que el área simulada en estos modelos es el 17.41% del área correspondiente a la unidad de medida

$$\frac{235{,}90\ mm}{12{,}00\ dias} = 19{,}66\ \frac{mm}{dia}$$

$$19{,}66\ L * 17{,}42\ \% = 3{,}42\ L$$

Por lo tanto, se procede a inducir en nuestros modelos una precipitación de 3,42 litros (equivalente a 3420 mililitros o cm3) durante 12 (valor de días que indica cuánto ha llovido ese valor en el mes máximo) días en el mes, ver anexo 13,3.

8. CAPÍTULO VIII: ENSAYOS EN LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

8.1. Tracción y elongación a la rotura de geomantos según la norma ASTM D6818

Este método cubre los procedimientos de ensayo para determinar las propiedades de tensión y elongación de geomantos. Este ensayo consiste en poner un espécimen en las mordazas de una máquina de tensión aplicando gradualmente una fuerza hasta que el espécimen se rompa. Los valores de la fuerza de rotura y elongación se obtienen a través de las gráficas de registro de la máquina, indicando los puntos de la curva fuerza–deformación (ASTM D6818-21, 2021).

Es importante mencionar que en la Norma ASTM D6818 (Standard Test Method for Tensile Properties of Rolled Erosion Control Products), se establece que, se debe registrar los resultados del ensayo de tracción y elongación, para cada sentido (longitudinal y transversal) en forma separada.

Toma de muestras

1) Muestra de lote: Una o más unidades de empaque tomadas aleatoriamente, que representan un muestreo con fines de aceptar un lote específico. Se usa como fuente de muestras de laboratorio (ASTM D4354 - 12, 2020).
2) Muestra de laboratorio: Una porción de material tomado para representar el lote muestra o el material original y usado en el laboratorio como una fuente de especímenes de ensayo (ASTM D4354 - 12, 2020).
3) Espécimen de ensayo: Se toman en total 10 muestras 5 en sentido longitudinal y 5 transversal (ASTM D4354 - 12, 2020).

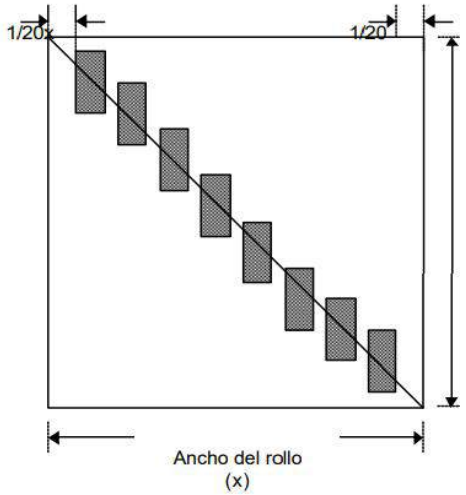


Figura 118. Esquema para toma de especímenes en sentido longitudinal
Fuente: (I.N.V.E - 901 - 07, 2007, pág. 5)

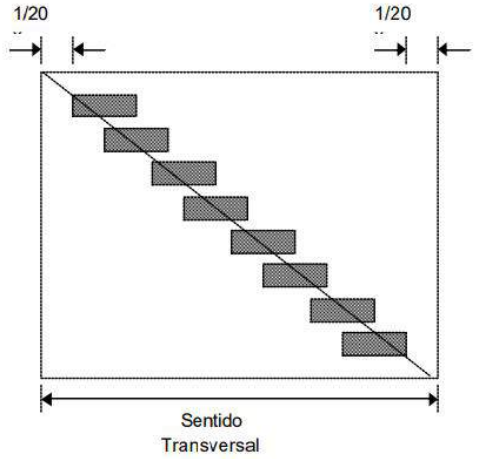


Figura 119. Esquema para toma de especímenes en sentido transversal
Fuente: (I.N.V.E - 901 - 07, 2007, pág. 5)

4) Se cortan los especímenes de 100 mm de ancho por 200 mm de largo (ASTM D4354 - 12, 2020).

Procedimiento de ensayo

1) Se asegura el espécimen en las mordazas de la máquina de ensayo
2) La muestra debe quedar centrada y la dimensión más larga lo más paralela a la dirección de la aplicación de la fuerza.
3) Se debe asegurar que la tensión en el espécimen sea uniforme a través del ancho sujetado por las mordazas. Prevenir que las mordazas estén muy apretadas, ya que puede producir rupturas, o que las mordazas estén muy flojas, porque se pueden producir deslizamientos en los extremos.
4) Encender la máquina de ensayo de tracción hasta que se produzca la ruptura del material
5) Al momento de producirse la ruptura, registrar los datos de fuerza-deformación del espécimen ensayado.

En caso de no estar de acuerdo con los resultados:

La Norma ASTM D6818 – 21, menciona que:

- El proveedor y la persona que realice la adquisición del material, deben realizar ensayos comparativos en diferentes laboratorios de confianza, para determinar si hay desviación estadística (ASTM D6818 - 21, 2021).
- Se recomienda que las dos partes seleccionen un grupo de especímenes de ensayo tan homogéneos como sea posible y que sean del mismo lote de material. Los especímenes son asignados al azar, en igual número, a cada laboratorio para su ensayo (ASTM D6818 - 21, 2021).

- Los resultados promedio de los dos laboratorios deben compararse usando el ensayo *t de Student* para datos no pareados, es importante que el estudio realice un estadista competente para la investigación de las desviaciones. Si se encuentra una desviación, su causa debe ser encontrada y corregida (ASTM D6818 - 21, 2021).

8.1.1. Ensayo de en geomanto de fibra de coco GMAT-VT400



Fotografía 48. Toma de muestras
Fuente: (Elaboración propia)



Fotografía 49. Recorte de las muestras
Fuente: (Elaboración propia)



Fotografía 50. Ensayo de tracción y elongación
Fuente: (Elaboración propia)

✓ ENSAYO EN SENTIDO LONGITUDINAL

Muestra 1



Gráfico 1. Fuerza deformación – muestra 1 longitudinal
Fuente: (Elaboración propia)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
355	9,88

Muestra 2



Gráfico 2. Fuerza deformación – muestra 2 longitudinal
Fuente: (Elaboración propia)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
363	10,3

Muestra 3

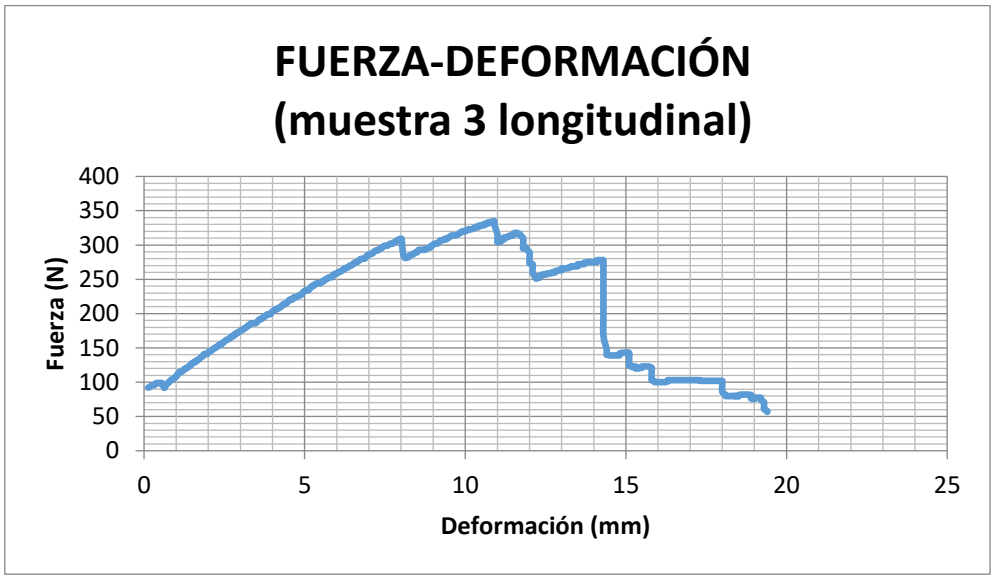


Gráfico 3. Fuerza deformación – muestra 3 longitudinal
Fuente: (Elaboración propia)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
335	10,9

Muestra 4



Gráfico 4. Fuerza deformación – muestra 4 longitudinal
Fuente: (Elaboración propia)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
338	14,8

Muestra 5

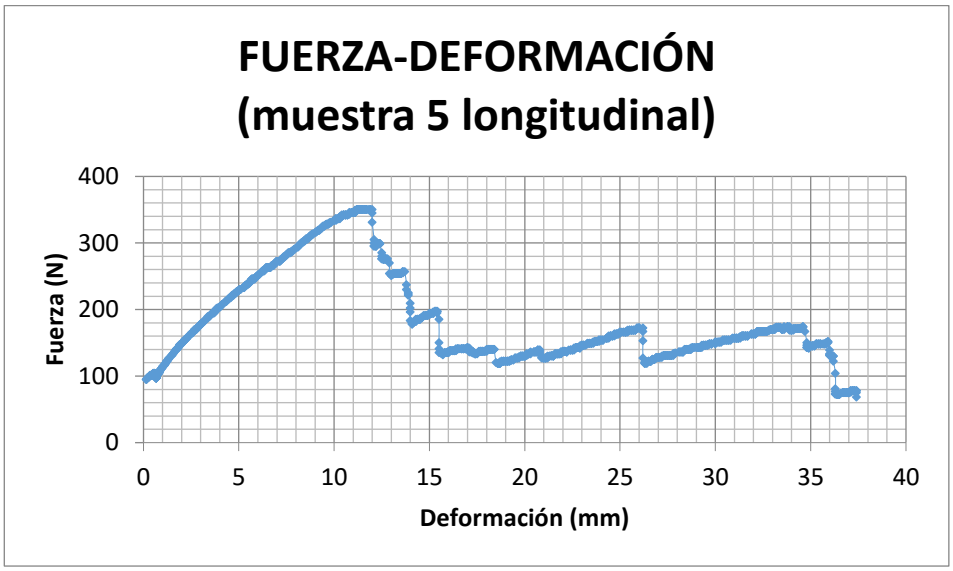


Gráfico 5. Fuerza deformación – muestra 5 longitudinal
Fuente: (Elaboración propia)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
350	11,2

- De los ensayos realizados se obtuvieron los siguientes resultados:

Fuerza de rotura por unidad de ancho:

En cada muestra se calcula el promedio de la fuerza de rotura dividida entre el ancho de la tira, esta es la máxima fuerza aplicada de la máquina de prueba, se expresa en KN/m (ASTM D6818 - 21, 2021).

Muestra	*Fuerza Máxima (N)*	*Deformación (mm)*
1	355	9,88
2	363	10,3
3	335	10,9
4	338	14,8
5	350	11,2

Tabla 33. Fuerza de rotura por unidad de ancho
Fuente: (Elaboración propia)

$$Fuerza\ Promedio\ Longitudinal = \frac{355 + 363 + 335 + 338 + 350}{5}$$

$$Fuerza\ Promedio\ Longitudinal = 348{,}2\ N$$

$$\boldsymbol{Fuerza\ Promedio\ Longitudinal = 0{,}3482\ kN}$$

$$Ancho\ de\ la\ tira = 0{,}1\ m$$

$$\boldsymbol{Resistencia\ a\ la\ tensión = 3{,}5\ kN/m}$$

Elongación de rotura:

Para cada muestra se realiza el promedio de la elongación para todos los especímenes, este valor pertenece a la máxima fuerza establecida leída de máquina de prueba, el resultado se expresa en porcentaje (ASTM D6818 - 21, 2021).

Muestra	*Fuerza Máxima (N)*	*Deformación (mm)*
1	355	9,88
2	363	10,3
3	335	10,9
4	338	14,8
5	350	11,2

Tabla 34. Elongación
Fuente: (Elaboración propia)

$$Promedio\ de\ la\ elongación\ = \frac{9{,}88 + 10{,}3 + 10{,}9 + 14{,}8 + 11{,}2}{5}$$

$$Promedio\ de\ la\ elongación\ = 11{,}416\ mm$$

$$\boldsymbol{Porcentaje\ de\ elongación\ = 5{,}708\ \%}$$

✓ **SENTIDO TRANSVERSAL**

Muestra 1

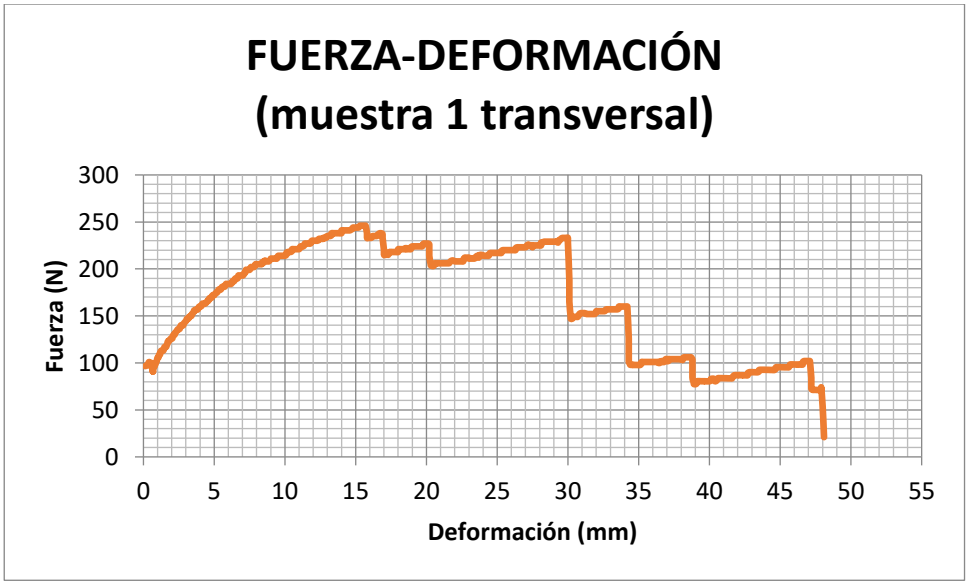


Gráfico 6. Fuerza deformación – muestra 1 transversal
Fuente: (Elaboración propia)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
246	15,7

Muestra 2

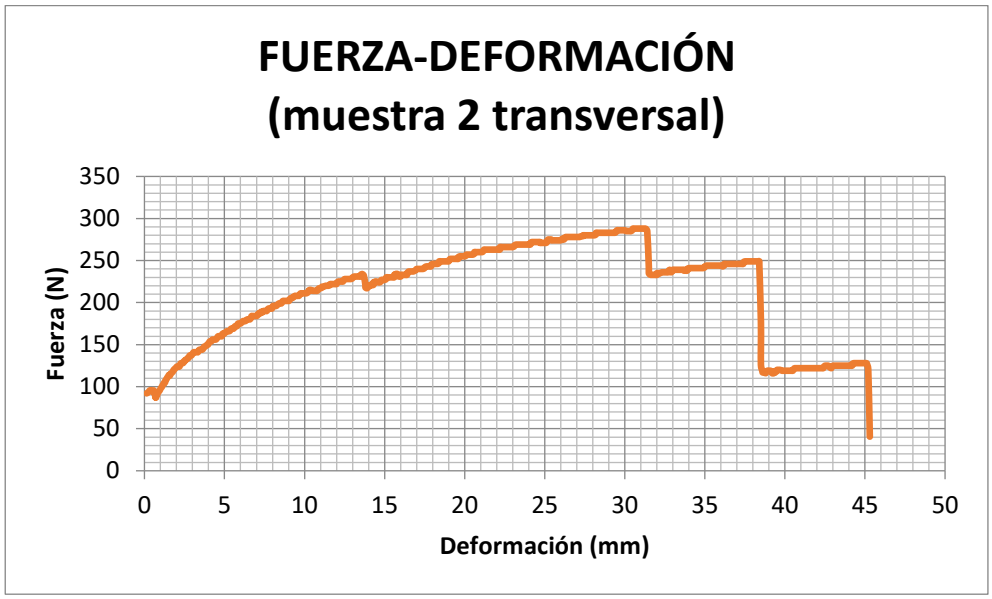


Gráfico 7. Fuerza deformación – muestra 2 transversal
Fuente: (Elaboración propia)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
288	31,3

Muestra 3

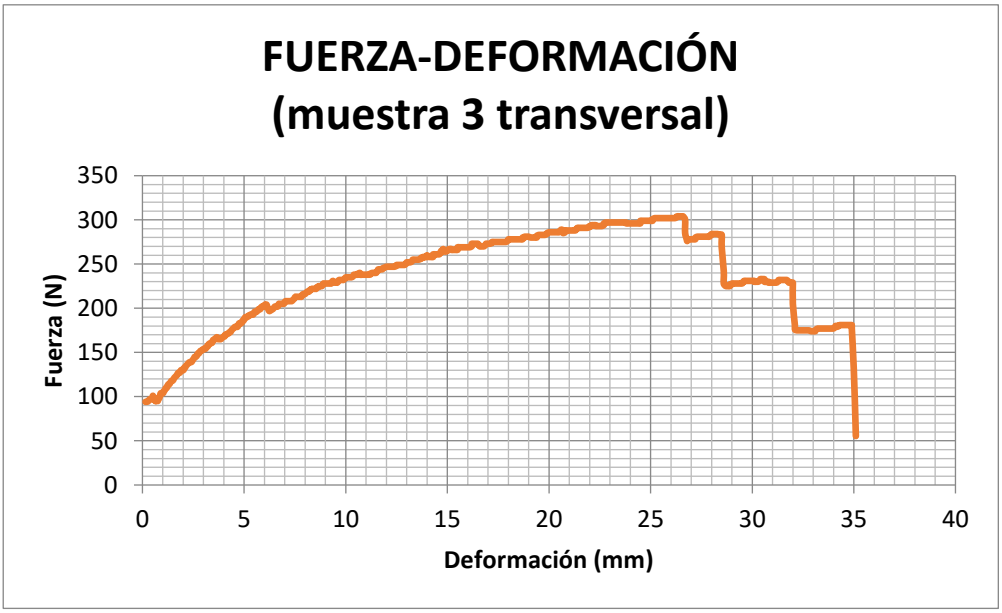


Gráfico 8. Fuerza deformación – muestra 3 transversal
Fuente: (Elaboración propia)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
304	26,6

Muestra 4

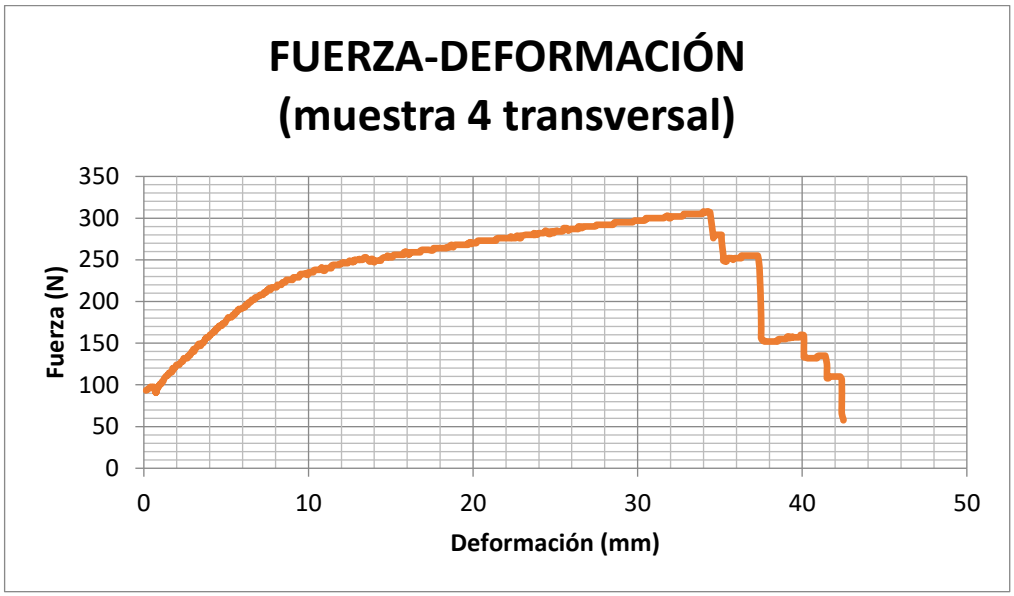


Gráfico 9. Fuerza deformación – muestra 4 transversal
Fuente: (Elaboración propia)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
308	34,3

Muestra 5

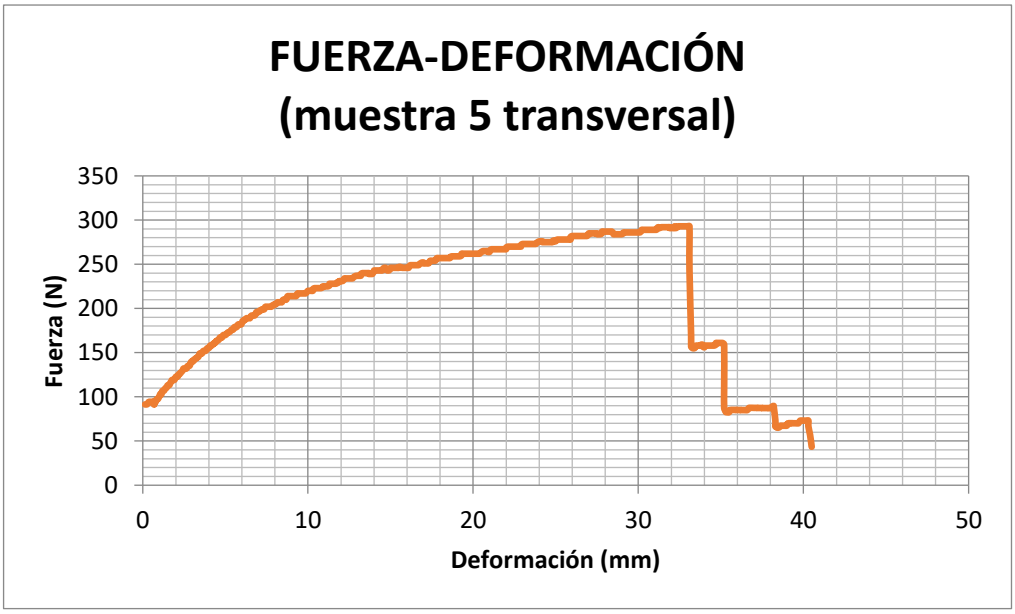


Gráfico 10. Fuerza deformación – muestra 5 transversal
Fuente: (Elaboración propia)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
293	33,1

- De los ensayos realizados se pudieron obtener los siguientes datos:

Fuerza de rotura por unidad de ancho:

Muestra	*Fuerza Máxima (N)*	*Deformación (mm)*
1	246	15,7
2	288	31,3
3	304	26,6
4	308	34,3
5	293	33,1

Tabla 35. Fuerza de rotura por unidad de ancho
Fuente: (Elaboración propia)

$$Fuerza\ Promedio\ Longitudinal = \frac{246 + 288 + 304 + 308 + 293}{5}$$

$$Fuerza\ Promedio\ Longitudinal = 287{,}8\ N$$

$$\boldsymbol{Fuerza\ Promedio\ Longitudinal = 0{,}2878\ kN}$$

$$Ancho\ de\ la\ tira = 0{,}1\ m$$

$$\boldsymbol{Resistencia\ a\ la\ tensión = 2{,}878\ kN/m}$$

Elongación de rotura:

Muestra	*Fuerza Máxima (N)*	*Deformación (mm)*
1	246	15,7
2	288	31,3
3	304	26,6
4	308	34,3
5	293	33,1

Tabla 36. Elongación
Fuente: (Elaboración propia)

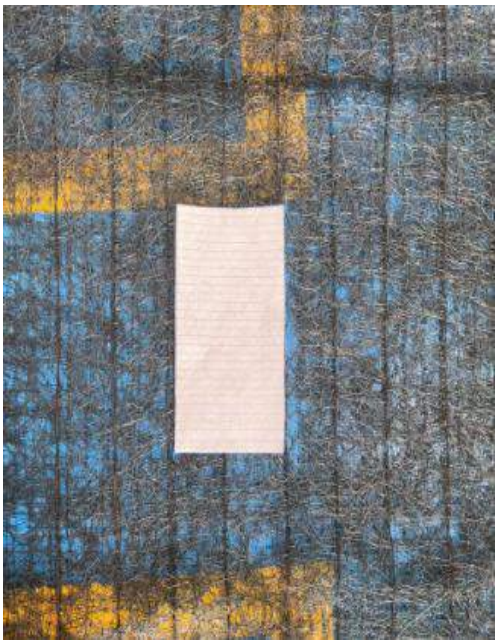
$$Promedio\ de\ la\ elongación\ = \frac{15{,}7 + 31{,}3 + 26{,}6 + 34{,}3 + 33{,}1}{5}$$

$$Promedio\ de\ la\ elongación\ = 28{,}2\ mm$$

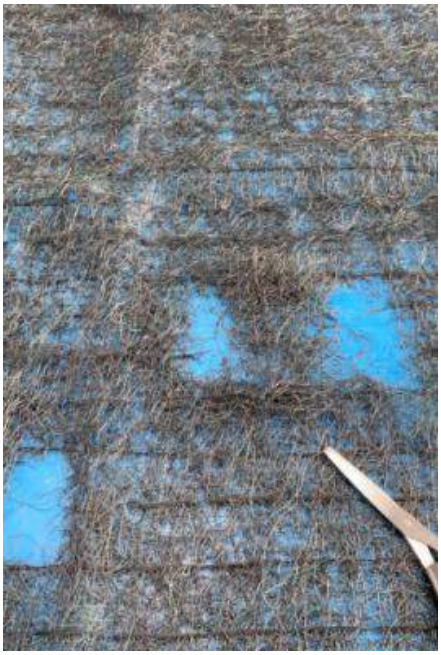
$$\boldsymbol{Porcentaje\ de\ elongación\ = 14{,}1\%}$$

- Se puede concluir que la resistencia a la tracción del producto GMAT-VT400 cumple con la resistencia indicada en la ficha técnica de Industrias Geoambientales Montecristi S.A. (Anexo 1). Mientras que el porcentaje de elongación en sentido transversal fue mayor a comparación de la elongación longitudinal.

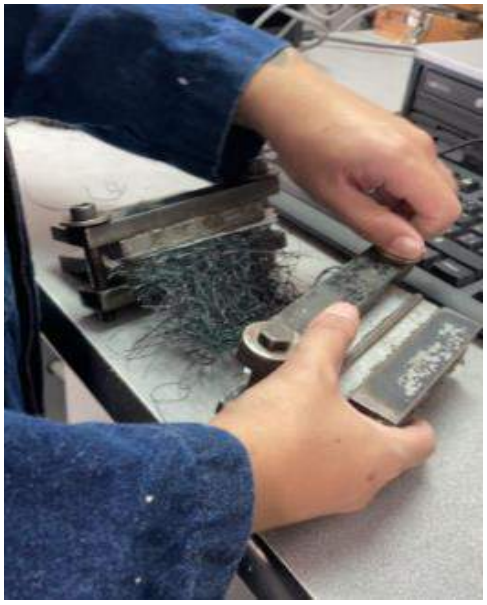
8.1.2. Ensayo de en geomanto de fibra sintética GMAT-DS310



Fotografía 51. Toma de muestras
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 52. Recorte de muestras
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 53.. Revisión de muestra
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 54. Ensayo de tracción y elongación
Fuente: Elaboración propia

✓ **SENTIDO LONGITUDINAL**

Muestra 1

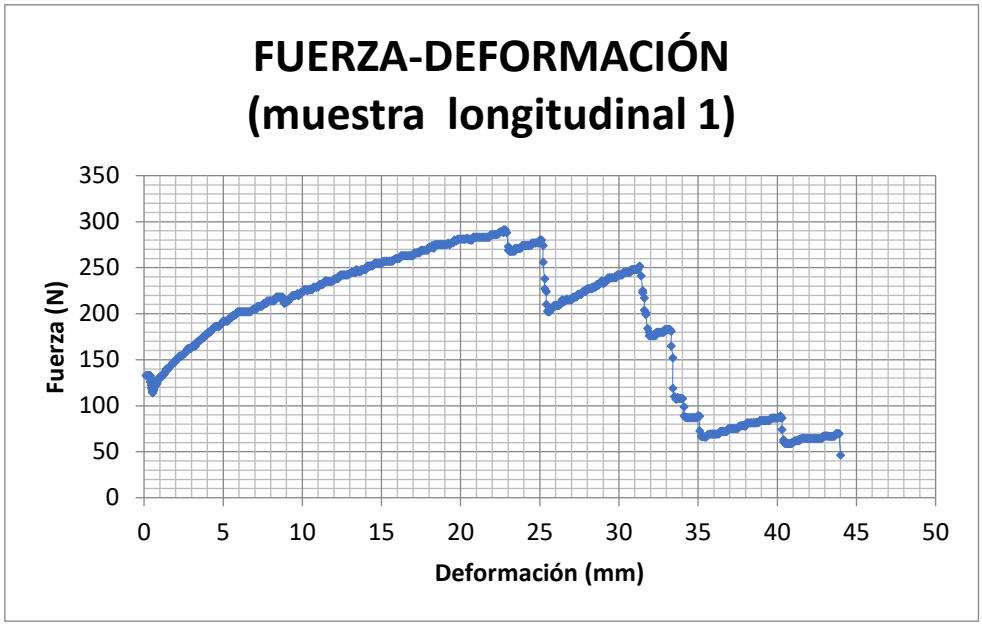


Gráfico 11. Fuerza deformación – muestra longitudinal 1
Fuente: (Elaboración propia)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
291	22,8

Muestra 2

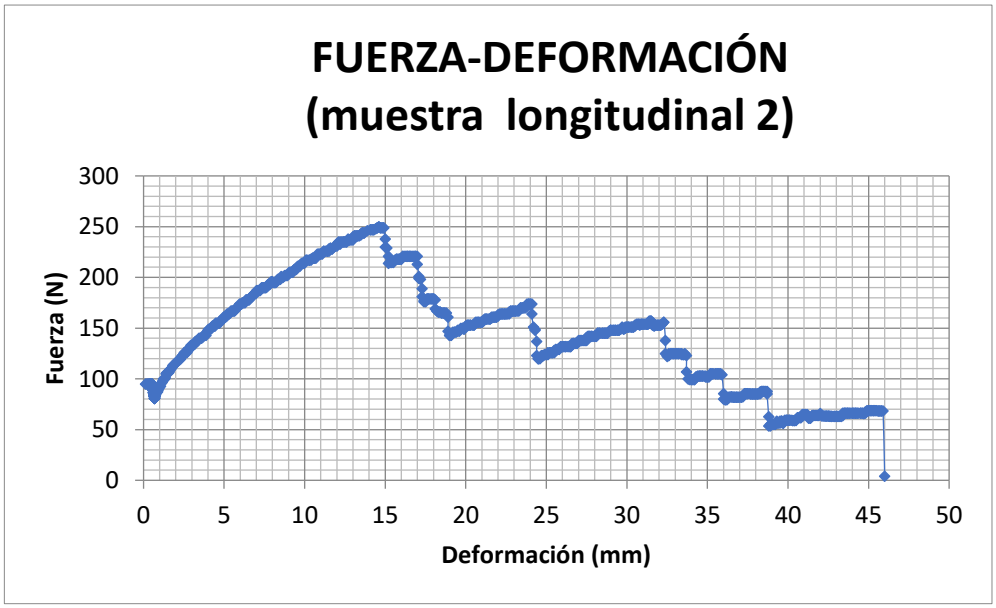


Gráfico 12. Fuerza deformación – muestra longitudinal 2
Fuente: (Elaboración propia)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
250	14,6

Muestra 3

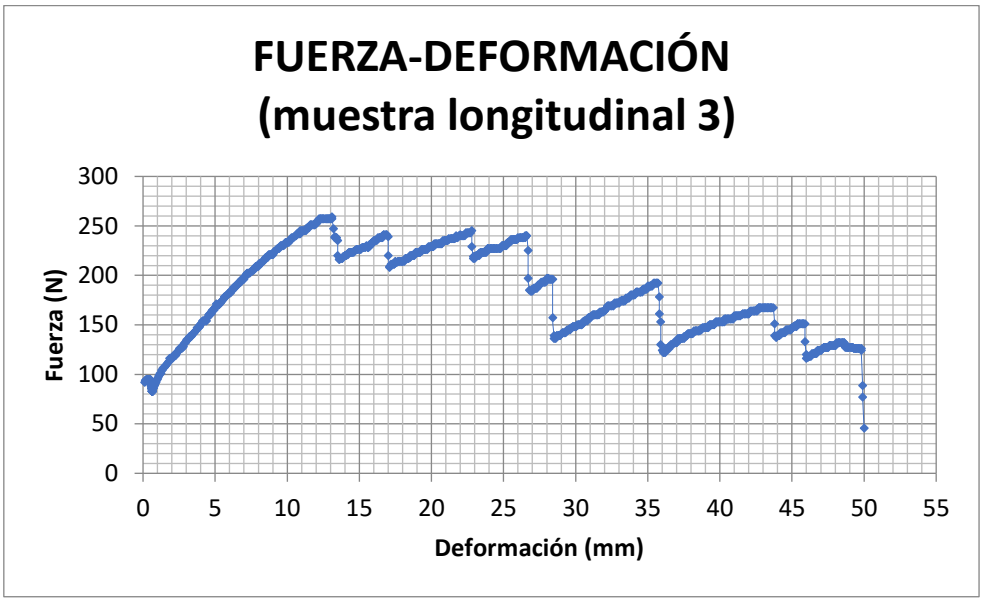


Gráfico 13. Fuerza deformación – muestra longitudinal 3
Fuente: (Elaboración propia)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
259	13,1

Muestra 4

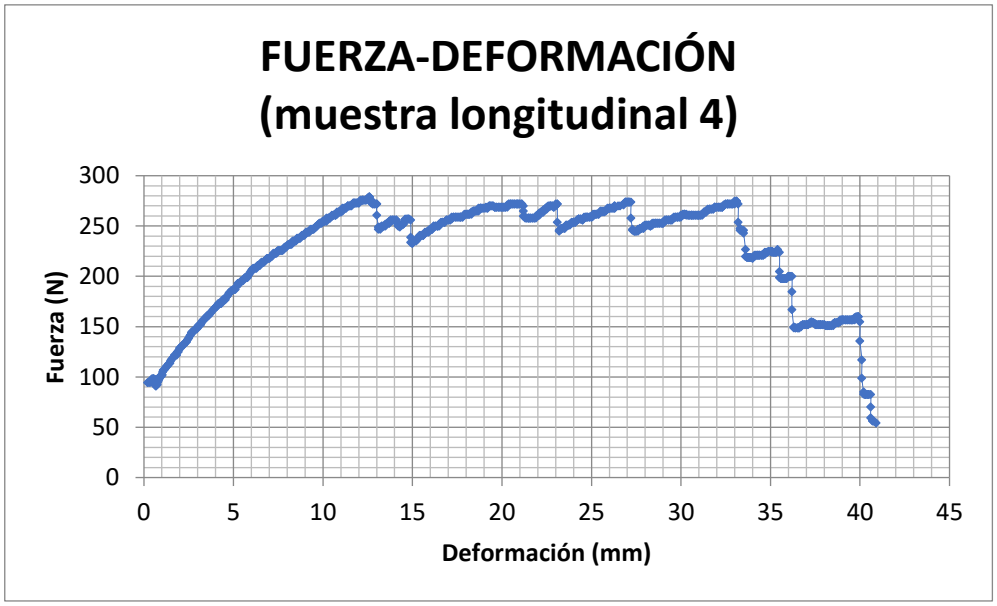


Gráfico 14. Fuerza deformación – muestra longitudinal 4
Fuente: (Elaboración propia)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
279	12,6

Muestra 5

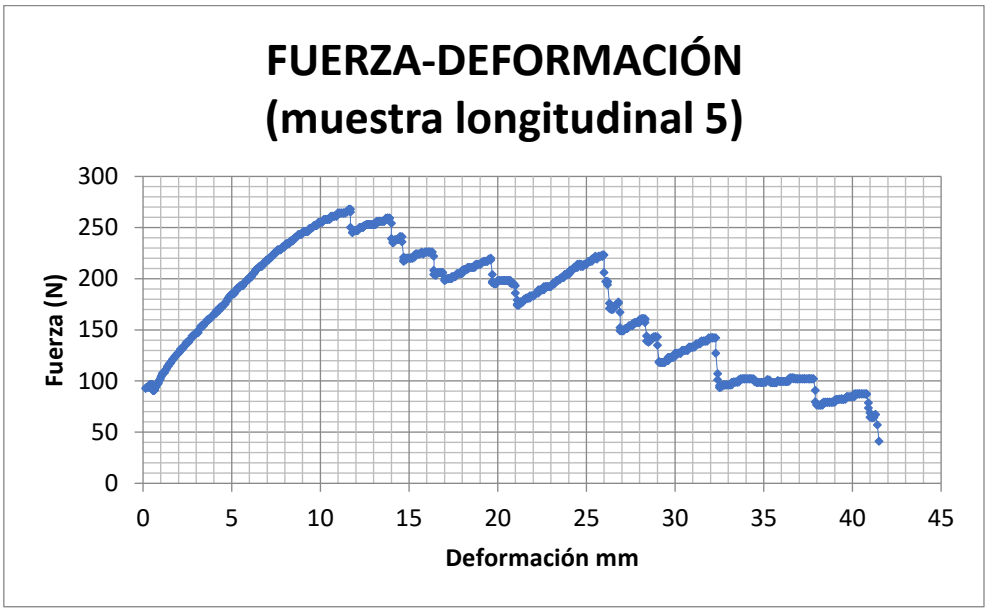


Gráfico 15. Fuerza deformación – muestra longitudinal 5
Fuente: (Elaboración propia)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
268	11,7

Fuerza de rotura por unidad de ancho:

Muestra	*Fuerza Máxima (N)*	*Deformación (mm)*
1	291	22,8
2	250	14,6
3	259	13,1
4	279	12,6
5	268	11,7

Tabla 37. Fuerza de rotura por unidad de ancho
Fuente: (Elaboración propia)

$$Fuerza\ Promedio\ Longitudinal = \frac{291 + 250 + 259 + 279 + 268}{5}$$

$$Fuerza\ Promedio\ Longitudinal = 269{,}4\ N$$

$$\boldsymbol{Fuerza\ Promedio\ Longitudinal = 0{,}2694\ kN}$$

$$Ancho\ de\ la\ tira = 0{,}1\ m$$

$$\boldsymbol{Resistencia\ a\ la\ tensión = 2{,}694\ kN/m}$$

Elongación de rotura:

Muestra	*Fuerza Máxima (N)*	*Deformación (mm)*
1	291	22,8
2	250	14,6
3	259	13,1
4	279	12,6
5	268	11,7

Tabla 38. Elongación
Fuente: (Elaboración propia)

$$Promedio\ de\ la\ elongación\ = \frac{22{,}8 + 14{,}6 + 13{,}1 + 12{,}6 + 11{,}7}{5}$$

$$Promedio\ de\ la\ elongación\ = 14{,}96\ mm$$

$$\boldsymbol{Porcentaje\ de\ elongación\ = 7{,}48\ \%}$$

✓ **SENTIDO TRANSVERSAL**

Muestra 1

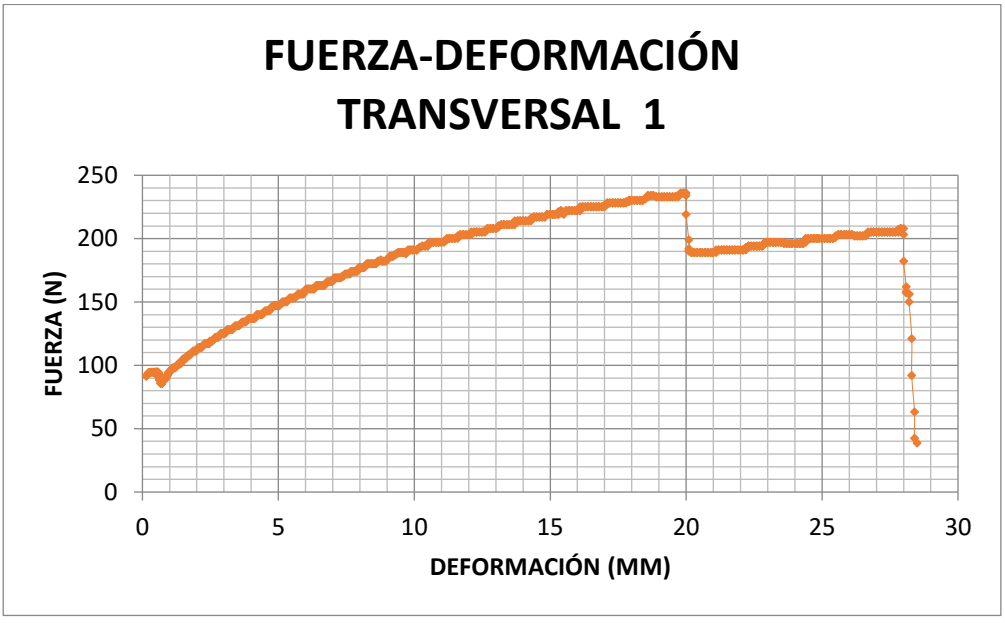


Gráfico 16. Fuerza deformación – transversal 1
Fuente: (Elaboración propia)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
236	20

Muestra 2

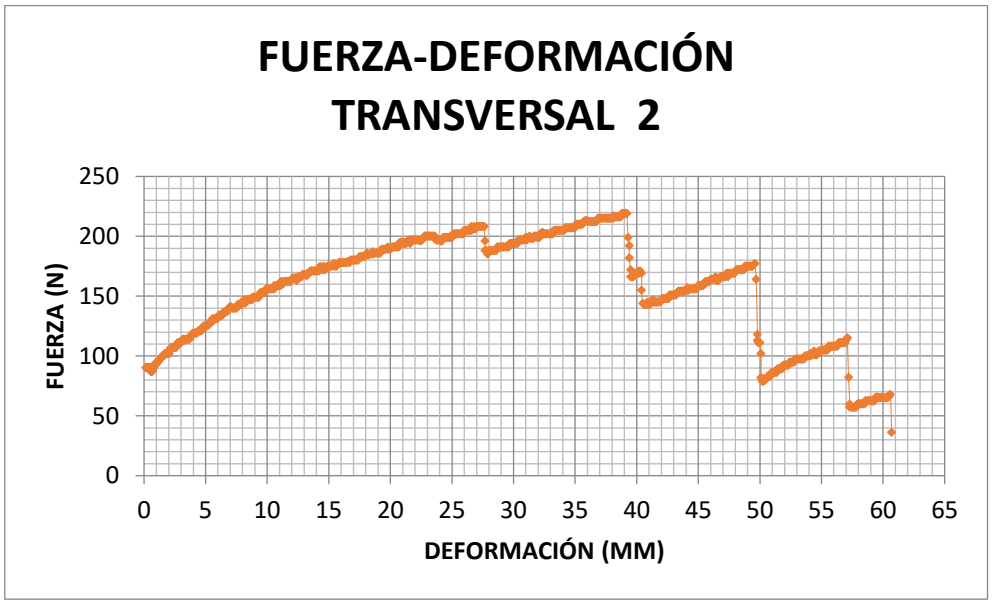


Gráfico 17. Fuerza deformación – transversal 2
Fuente: (Elaboración propia)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
219	39,2

Muestra 3

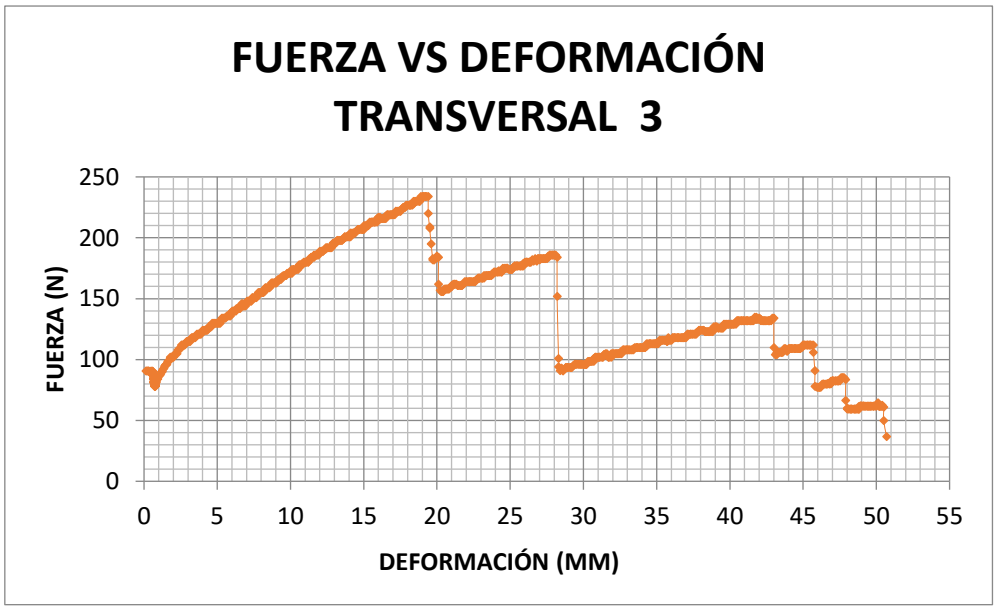


Gráfico 18. Fuerza deformación – transversal 3
Fuente: (Elaboración propia)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
234	19,4

Muestra 4

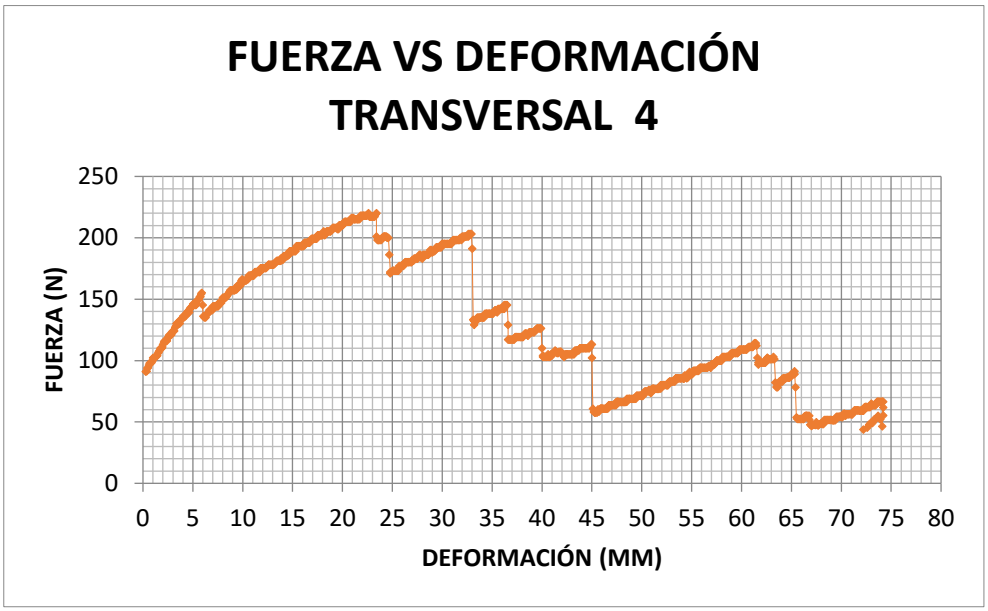


Gráfico 19. Fuerza deformación – transversal 4
Fuente: (Elaboración propia)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
220	22,6

Muestra 5

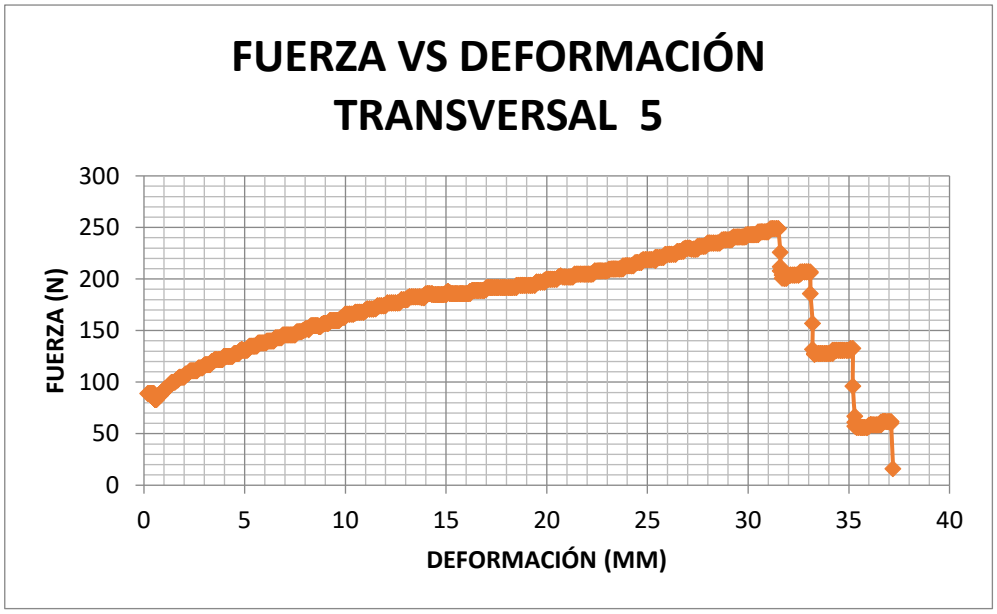


Gráfico 20. Fuerza deformación – transversal 5
Fuente: (Elaboración propia)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
249	31,5

Fuerza de rotura por unidad de ancho:

Muestra	*Fuerza Máxima (N)*	*Deformación (mm)*
1	236	20
2	219	39,2
3	234	19,4
4	220	22,6
5	249	31,5

Tabla 39. Fuerza de rotura por unidad de ancho
Fuente: (Elaboración propia)

$$Fuerza\ Promedio\ Longitudinal = \frac{236 + 219 + 234 + 220 + 249}{5}$$

$$Fuerza\ Promedio\ Longitudinal = 231{,}6\ N$$

$$\boldsymbol{Fuerza\ Promedio\ Longitudinal = 0{,}2316\ kN}$$

$$Ancho\ de\ la\ tira = 0{,}1\ m$$

$$\boldsymbol{Resistencia\ a\ la\ tensión = 2{,}316\ kN/m}$$

Elongación de rotura:

Muestra	*Fuerza Máxima (N)*	*Deformación (mm)*
1	236	20
2	219	39,2
3	234	19,4
4	220	22,6
5	249	31,5

Tabla 40. Elongación
Fuente: (Elaboración propia)

$$Promedio\ de\ la\ elongación\ = \frac{20 + 39{,}2 + 19{,}4 + 22{,}6 + 31{,}5}{5}$$

$$Promedio\ de\ la\ elongación\ = 26{,}54\ mm$$

$$\boldsymbol{Porcentaje\ de\ elongación\ = 13{,}27\ \%}$$

- Se puede concluir que la resistencia a la tracción del producto GMAT-DS310 NO cumple con la resistencia indicada en la ficha técnica de Industrias Geoambientales Montecristi S.A. (Anexo 4). Mientras que la se registró un mayor porcentaje de elongación en las muestras de sentido transversal a comparación del sentido longitudinal.

8.2. Método de prueba estándar para la medición de la masa por unidad de área de las mantas de control de la erosión (ASTM D6475-17, 2017)

$$m = \frac{M_s \times 10^6}{A}$$

Dónde:

m= Masa por unidad de área en gramos

M_S= Masa del espécimen en gr

A = Área del espécimen mm^2

8.2.1. Ensayo de en geomanto de fibra de coco GMAT-VT400



Fotografía 55. Geomanto de fibra de coco
Fuente (Elaboración propia)

Muestra	***Masa (gr)***
1	3,16
2	3,19
3	3,02
4	3,11
5	3,07
Promedio	3,11

$$m = \frac{3{,}11 \times 10^6}{100\ x\ 100}$$

$$m = 311\ gr$$

Ensayo de en geomanto de fibra sintética GMAT-DS310



Fotografía 56. Geomanto de fibra sintética
Fuente (Elaboración propia)

Muestra	***Masa (gr)***
1	3,87
2	3,90
3	3,84
4	3,91
5	3,82
Promedio	3,86

$$m = \frac{3{,}87 \times 10^6}{100\ x\ 100}$$

$$m = 386\ gr$$

9. CAPÍTULO IX: ENSAYOS EN LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Para la elaboración de este proyecto de disertación se ha optado por realizar los modelos erosivos en un suelo clasificado como arena. A continuación se presentan sus características geomecánicas, para el análisis comparativo de los especímenes de ensayo.

El origen la arena proviene de una cantera por fragmentación natural de las rocas, ubicada en la parroquia de San Antonio de Pichincha, la misma que pudimos obtener a través de una distribuidora de materiales de construcción.

9.1. Clasificación Manual Visual (ASTM D2488-17)

Se realizó en cada muestra de suelo una identificación de suelos en base a la Norma ASTM D2488-17 ¨Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedures) ¨, la norma describe un procedimiento para la identificación de suelos con base el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS. La identificación se realizó mediante ensayos manuales y un examen visual para determinar sus características físicas (ASTM D2488 - 17, 2017).

PARÁMETRO	CARACTERÍSTICAS
Color	Café claro
Olor	Ninguno
Humedad	Seca
Reacción al HCL	-
Consistencia	-
Estructura	Homogénea
Dureza	Desmorona
Resistencia Seca	-
Dilatancia	Rápida
Tenacidad	-
Rango de partículas	<5% grava,>80% arena y <15% limo y arcilla
Máximo tamaño de partículas	Arena media

Tabla 41. Clasificación Manual Visual
Fuente (Elaboración propia)

9.2. Peso Unitario

Para determinar la densidad del suelo nos basamos en la norma ASTM C29/C29M-17a “Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weigth”) and Voids in Aggregate” (ASTM C29/C29M - 17a , 2017). La norma establece el método para determinar la densidad de Bulk (peso unitario) de agregados finos, gruesos o una mezcla de ambos, en condición suelta o compacta (ASTM C29/C29M - 17a , 2017).

Peso unitario: Peso (masa) por unidad de volumen (densidad de Bulk) (ASTM C29/C29M - 17a , 2017).

Densidad de Bulk: Masa de un volumen unitario de un agregado total, incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de vacíos entre ellas (ASTM C29/C29M - 17a , 2017).

Peso Unitario Suelto (gr/cm3)	1,49
Peso Unitario Compactado (gr/cm3)	1,51

Tabla 42. Peso Unitario
Fuente (Elaboración propia)

9.3. Gravedad Específica

Según la Norma ASTM D854-14: Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer¨, se define a la gravedad específica como la relación entre la densidad de los sólidos y la densidad de agua destilada a 20°C.. Para la ejecución de este ensayo la norma establece que, es aplicable para suelos pasantes el tamiz N°4, en suelos con partículas superiores al tamiz N°4 se debe usar la norma ASTM C127 (ASTM D854-14, 2014).

Existen dos métodos de ensayo:

- Método A: Este método consiste trabajar con el suelo en estado húmedo, se toma su contenido de humedad para luego calcular la cantidad de suelo seco (ASTM D854-14, 2014).
- Método B: Se realiza el ensayo con el suelo secado en un horno de 110 °C (ASTM D854-14, 2014).

Para la elaboración del presente ensayo se realizó un solo ensayo y se optó por el método A.




Fotografía 57 y Fotografía 58. Ensayo de gravedad específica
Fuente (Elaboración propia)

Gravedad Específica	2,36
Porcentaje de Absorción	2,44%

Tabla 43. Gravedad Específica
Fuente (Elaboración propia)

9.4. Contenido de Humedad

Es una relación entre la masa de agua y la masa de las partículas sólidas de una muestra de suelo expresada en porcentaje, de esta manera se podrá determinar el contenido de humedad o agua en el espécimen. El ensayo fue realizado bajo la Norma ASTM D2216-19 ¨Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass¨ (ASTM D2216-19, 2019).

Después de ser descargado el material de la volqueta se procedió a tomar las muestras: se formó una pila del material, se mezcló y para reducir al tamaño requerido se lo hizo por cuarteo. Ya obtenidas las muestras se procedió a secar en la cocineta durante 1h00 hasta que estas cambien de color, con los datos obtenidos se procedió a realizar los cálculos pertinentes para ejecutar de inmediato la compactación de los especímenes de prueba.



Fotografía 59. Secado de muestras con el fin de obtener la humedad natural del suelo.
Fuente: Elaboración propia.

Humedad del suelo:

$$W_o = \frac{W_w}{W_{seco}}\ x\ 100$$

$$\boldsymbol{W_o = \frac{Peso\ Inicial\ - Peso\ Seco}{Peso\ Seco}\ x\ 100}$$

$$W_1 = \frac{(496{,}6\ - 253{,}7) - (488{,}2 - 253{,}7)}{(488{,}2\ - 253{,}7)}\ x\ 100$$

$$W_1 = 3{,}582\%$$

$$W_2 = \frac{(658{,}9\ - 325{,}6) - (646{,}2 - 325{,}6)}{(646{,}2\ - 325{,}6)}\ x\ 100$$

$$W_2 = 3{,}96\%$$

$$W_3 = \frac{(498{,}2\ - 253{,}9) - (488{,}9 - 253{,}9)}{(488{,}9\ - 253{,}9)}\ x\ 100$$

$$W_3 = 3{,}957\%$$

$$\boldsymbol{W_{PROMEDIO} = 3{,}833\%}$$

9.5. Granulometría

Para determinar los porcentajes de los distintos tamaños de partículas que contiene el suelo con respecto al peso total se realizó la granulometría de los agregados gruesos por tamizado en base a la Norma ASTM D2487-17 “Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)” (ASTM D2487-17e1, 2017)

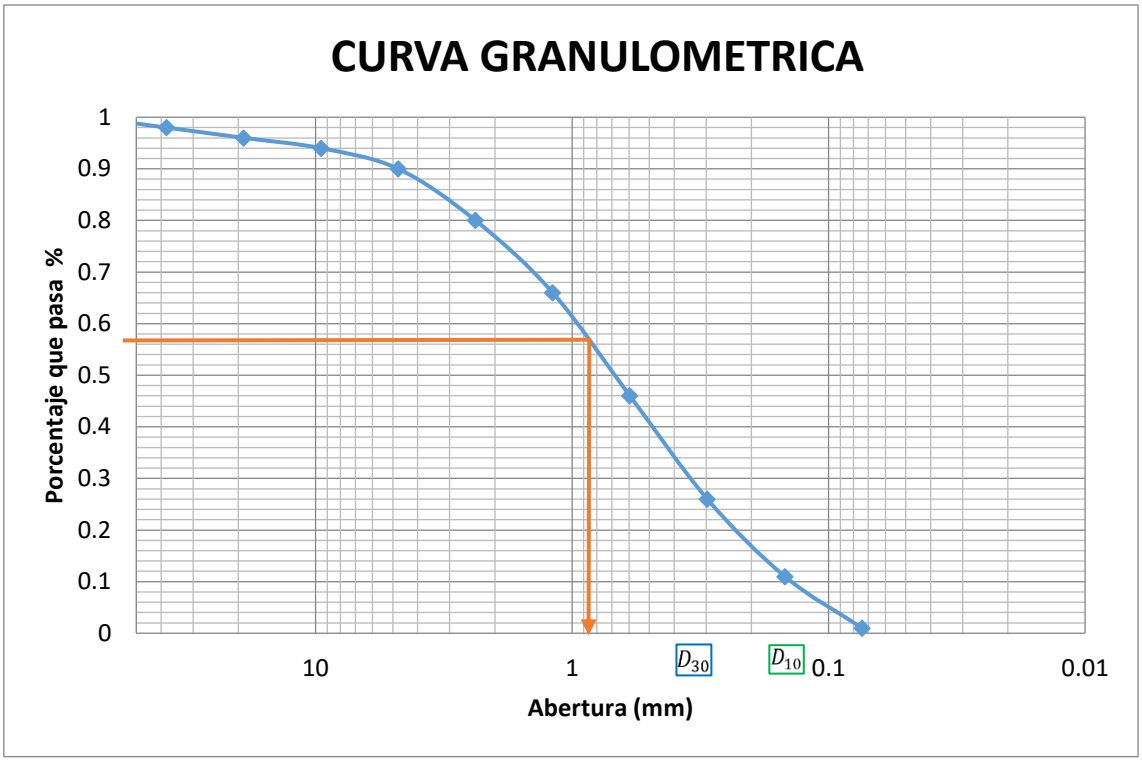


Gráfico 21.Curva granulométrica
Fuente: (Elaboración propia)

Análisis Granulométrico	
% Grava:	0
% Arena:	90
% Finos:	10
Clasificación SUCS:	SP-SM
Nombre:	Arena pobremente gradada con limo
D 60	0,55
D 30	0,17
D 10	0,08
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	7,27
Coeficiente de Uniformidad (Cc)	0,69

Tabla 44. Granulometría
Fuente (Elaboración propia)

9.6. Compactación Modificada del Suelo

Para la compactación se utilizó el Proctor Modificado ya que, su aplicación simula una compactación con maquinaria en obra. Además, mediante este método se llega a conocer el contenido de humedad necesario para llegar a un porcentaje de compactación requerido, así, se podrá realizar un control en obra y obtener las propiedades deseadas (ASTM D1557-12e1, 2012).

Este método permite determinar mediante la compactación en laboratorio, la relación entre el contenido de humedad y peso unitario seco del suelo. Para el Proctor Modificado se debe colocar 5 capas de una muestra de suelo en un molde de forma cilíndrica, cada capa es compactada con 25 o 56 golpes por medio de una fuerza de compactación de 44.48N dejando caer un martillo libremente desde una altura de 457.2mm, produciendo un esfuerzo de compactación de 2700kNm/m3 (ASTM D1557-12e1, 2012).

Al obtener la gráfica de compactación (contenido de humedad vs densidad seca) se deberá determinar el contenido de humedad máximo, densidad seca máxima y peso unitario seco máximo.

Este ensayo se realizó en referencia a la Norma ASTM D1557-12 “Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft^3 (2,700 kN-m/m^3)) (ASTM D1557-12e1, 2012).

Arena Limosa

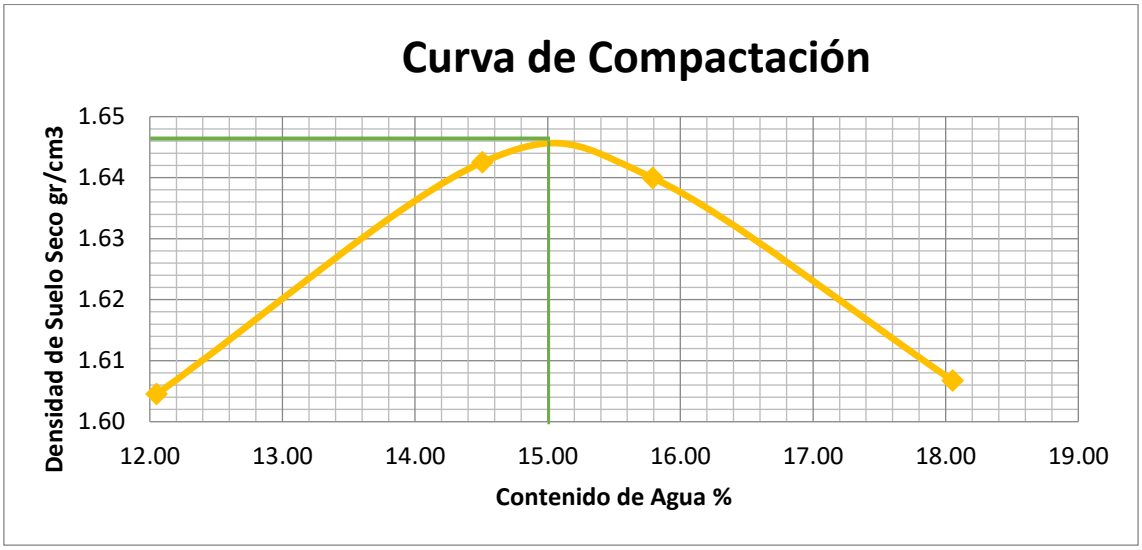


Gráfico 22.Curva de Compactación
Fuente: (Elaboración propia)

DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm3)	1,644
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	15

Tabla 45. Compactación Modificada del Suelo
Fuente (Elaboración propia)

9.7. Ensayo de Corte Directo (ASTM D3080 / D3080M-11, 2011)

En la norma ¨Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions¨ (ASTM D3080 / D3080M-11, 2011) se menciona el procedimiento para determinar la resistencia cortante de una muestra de suelo en condiciones consolidada-drenada, se puede realizar uno o dos cortes en

muestras remoldeadas o inalteradas, es importante que no exista la presencia de partículas de roca durante el ensayo ya que pueden alterar el resultado.

Ensayo consolidado drenado (CD)

- La velocidad de corte es lenta (Rojas Gavilan, 2010/2011).
- Se permite el drenaje de la muestra durante todo el ensayo siendo las presiones intersticiales nulas durante la aplicación del esfuerzo cortante (μ=0) (Rojas Gavilan, 2010/2011).
- Estos implica que; $\sigma=\sigma'$, c=c´, $\phi=\phi'$ (Rojas Gavilan, 2010/2011).

9.7.1. Corte Directo consolidado drenado CD

Se realizó un ensayo de corte directo para determinar la resistencia al corte de una muestra consolidada y drenada, a partir de este ensayo se pudo determinar el ángulo de fricción y cohesión del suelo.

Esta muestra se obtuvo antes de realizar en ensayo de precipitación, a través del remoldeo de una muestra de suelo por compactación con la densidad y humedad óptima. Se aplicaron esfuerzos normales de 50, 100 y 200 Kpa.

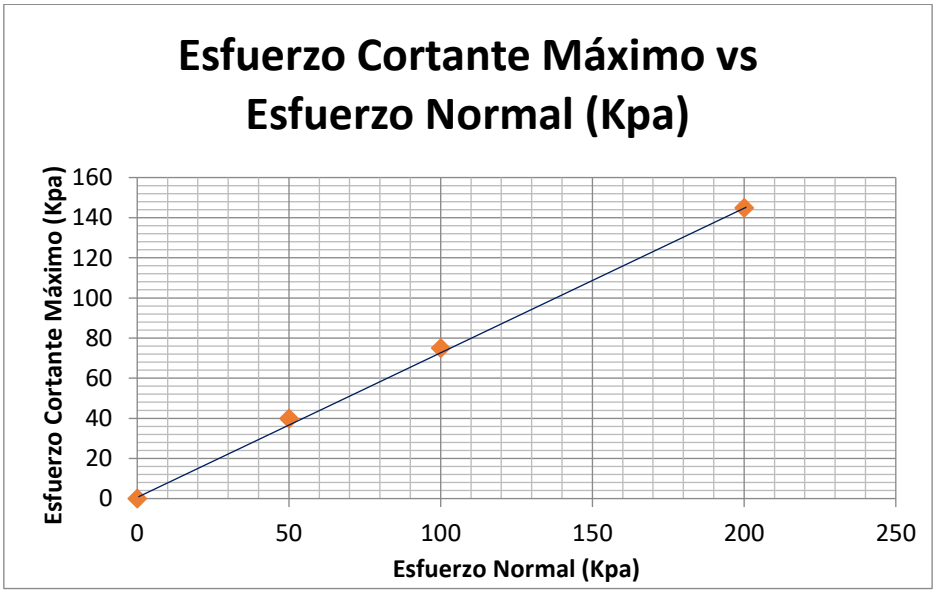


Gráfico 23. Corte directo (CD) antes de ser ensayado los taludes. Esfuerzo cortante vs. Esfuerzo normal. Fuente: Elaboración Propia

Ángulo de resistencia al corte	35,64°
Cohesión aparente	4,25 Kpa

Tabla 46. Angulo de resistencia al corte y cohesión del suelo. Fuente: Elaboración Propia.

10. CAPÍTULO X: ENSAYOS DE PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA

10.1. Simulador de lluvia

Los simuladores de precipitación y escorrentía son elementos de investigación construidos para regar agua de una forma similar a la lluvia natural, son de gran utilidad para obtener datos de erosión, escorrentía superficial e infiltración. Estos modelos intentan aproximarse lo más cercano posible a las características y condiciones de una precipitación natural (Martín de la Cruz, 2010).

Su ventaja es que se pueden realizar diversas mediciones sin esperar a que se produzcanlas precipitaciones naturales, por esta razón los simuladores han permitido estudiar diversos componentes del ciclo hidrológico aunque los aspectos más estudiados han sido lluvia, escorrentía, infiltración y pérdida de suelo (JOHNSTON et al, 1980) (Martín de la Cruz, 2010).

10.2. Tipos de simuladores de precipitación

10.2.1. Simuladores goteadores

A los inicios de la investigación de simuladores de precipitación los primeros en construirse fueron de tipo gotera, su característica principal es su reducida complicación técnica, debido a que forma gotas individuales dejándolas caer desde cierta altura. En las últimas décadas se han realizado más simuladores de lluvia para condiciones de laboratorio, ya que su uso es más sencillo a comparación que la aplicación en campo (Martín de la Cruz, 2010).



Fotografía 60.Operación del simulador: llenado, revisión y puesta en marcha de la simulación. Fuente: (Ing. Monge Jeremías & Ing.Aguilar Pereira, Agosto 2008, pág. 11).

10.2.2. Simuladores pulverizadores

A partir de la década de los 40 se dio a conocer los simuladores de lluvia tipo pulverizador, ya que una de las características más importantes de la lluvia es su alta energía cinética. Este sistema permite que la salida del agua sea bajo presión a

través de una boquilla pulverizadora, los diseños de los aspersores son para irrigación, incendios o agronomía (Martín de la Cruz, 2010).

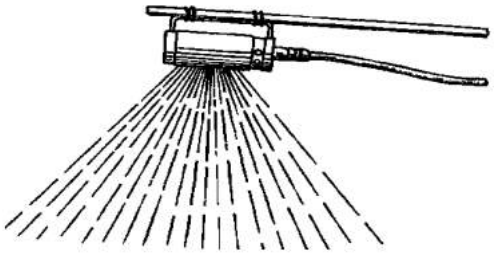


Figura 120.Simulador pulverizador de movimiento alternativo. CERDÁ.
Fuente: (Martín de la Cruz, 2010, pág. 18).

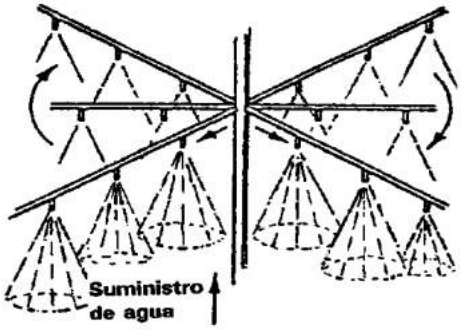


Figura 121. Brazos giratorios que transportan lanzas. SWANSON.
Fuente: (Martín de la Cruz, 2010, pág. 20).

10.3. Características de un simulador de precipitación

Tamaño medio de la gota:

El diámetro natural de la gota varía entre 6 a 7 mm, al descender las gotas de agua a la tierra se vuelven inestables produciendo la división en gotas más pequeñas, obteniendo un diámetro que varía entre los 2 a 3 mm dependiendo de la intensidad de lluvia que se produzca (Martín de la Cruz, 2010).

Distribución de tamaño de las gotas:

El tamaño de gota varía según el clima de la zona, en el caso de climas templados las gotas son de un tamaño pequeño a mediano, en áreas tropicales donde existen lluvias con mayor intensidad las gotas son de tamaño grande. La distribución de tamaños depende de la intensidad con la que caiga la precipitación (Martín de la Cruz, 2010).

Velocidad de caída de las gotas:

Al caer las gotas llegan a alcanzar su velocidad máxima cuando la fuerza de aceleración gravitacional es igual a la resistencia de la gota que cae, la velocidad

depende del tamaño de gota llegando a tener una velocidad máxima de 9 m/s (Martín de la Cruz, 2010)**.**

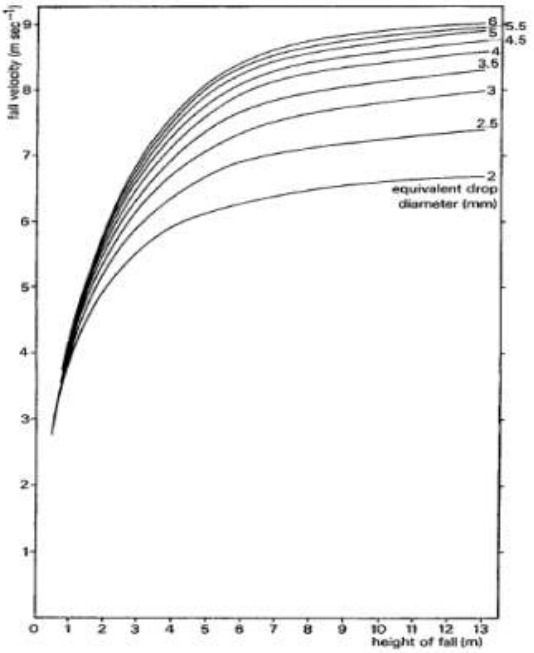


Figura 122 .Relación velocidad-altura de caída. LAWS.
Fuente: (Martín de la Cruz, 2010, pág. 23).

Energía Cinética:

La precipitación es el resultado de la sumatoria de la energía cinética de las gotas individuales en función del tamaño y velocidad a la que caiga la lluvia simulada. La energía define la capacidad de la lluvia para provocar erosión hídrica, siendo este un factor muy importante para estudiar el efecto la lluvia en el proceso de erosión (Martín de la Cruz, 2010).

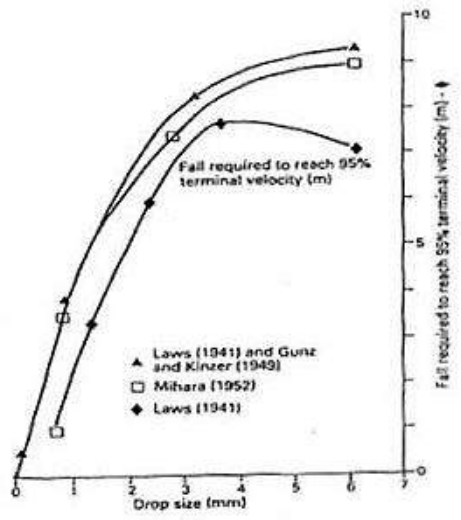


Figura 123. Relación velocidad de caída / diámetro de gota. EPEMA y RIEZEBOS.
Fuente: (Martín de la Cruz, 2010, pág. 24).

height of fall (m)	equivalent drop diameter (mm)								
	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
0.50	2.83	2.95	2.96	2.96	2.96	2.96	2.96	2.96	2.96
1.00	3.92	4.08	4.02	4.04	4.06	4.08	4.10	4.12	4.14
1.50	4.59	4.72	4.84	4.94	5.00	5.04	5.08	5.12	5.15
2.00	4.98	5.26	5.42	5.56	5.65	5.74	5.78	5.82	5.86
3.00	5.56	5.94	6.21	6.40	6.54	6.68	6.77	6.84	6.92
4.00	5.95	6.39	6.73	6.97	7.17	7.34	7.44	7.54	7.64
5.00	6.14	6.72	7.10	7.41	7.64	7.80	7.96	8.05	8.11
6.00	6.28	6.94	7.36	7.69	7.95	8.12	8.27	8.36	8.42
7.00	6.39	7.04	7.53	7.86	8.15	8.31	8.45	8.54	8.62
8.00	6.48	7.15	7.65	7.97	8.26	8.43	8.56	8.66	8.75
9.00	6.56	7.20	7.74	8.06	8.34	8.51	8.65	8.75	8.84
10.00	6.62	7.26	7.81	8.14	8.41	8.58	8.72	8.82	8.90
13.00	6.68	7.40	7.98	8.30	8.58	8.75	8.90	8.96	9.02

Figura 124. Velocidad de caída de las gotas de lluvia según el tamaño y altura. EPEMA y RIEZEBOS. Fuente: (Martín de la Cruz, 2010, pág. 24).

10.4. Ventajas y desventajas de los simuladores

Ventajas	Desventajas
Se pueden realizar varias mediciones y repetir los ensayos sin necesidad de la presencia de la lluvia natural	Dependiendo de las dimensiones del simulador estos pueden llegar a ser muy costosos y de gran volumen
Puede trabajar con precipitaciones constantes y controladas	Cuando se realizan los ensayos en campo estos pueden ser afectados por las condiciones climáticos como el viento o agua
Se pueden comparar los datos de los especímenes ya ensayados en las mismas o diferentes condiciones	En algunos casos es complicado que el simulador de lluvia llegue a tener el valor de energía cinética que tiene la lluvia natural.

Tabla 47. Ventajas y desventajas del uso de simuladores. Fuente: (Martín de la Cruz, 2010, págs. 25 - 26).

10.5. Descripción del equipo para la Simulación de lluvia

El simulador de lluvia se instaló en la bodega del Laboratorio de materiales de Construcción y Suelos de la PUCE Quito-Ecuador, ya que se disponía de un punto de agua cercano al espacio asignado para la recolección de datos y la ausencia obstáculos que puedan afectar la lectura de datos que nos proporciona el simulador.

10.5.1. Estructura del simulador

El simulador de lluvia tipo goteador empleado en esta investigación está basado en el ¨Manual de Operación del simulador de lluvia para la cuantificación de la infiltración, escorrentía y erosión de suelos¨ elaborado por (Ing. Monge Jeremías & Ing.Aguilar Pereira, Agosto 2008) y en la Norma ¨Standard Index Test Method for Determination of Unvegetated Rolled Erosion Control Product (RECP) Ability to Protect Soil from Rain Splash and Associated Runoff Under Bench-Scale Conditions¨ (ASTM D7101-13e1, 2013).

- ✓ El simulador está compuesto de acrílico con las siguientes dimensiones: regadera cuadrada de 42cm x 42cm x 2,5cm y en la parte superior un cubo de 20cm x 20cm x 22cm, con un volumen de 13,21 litros.

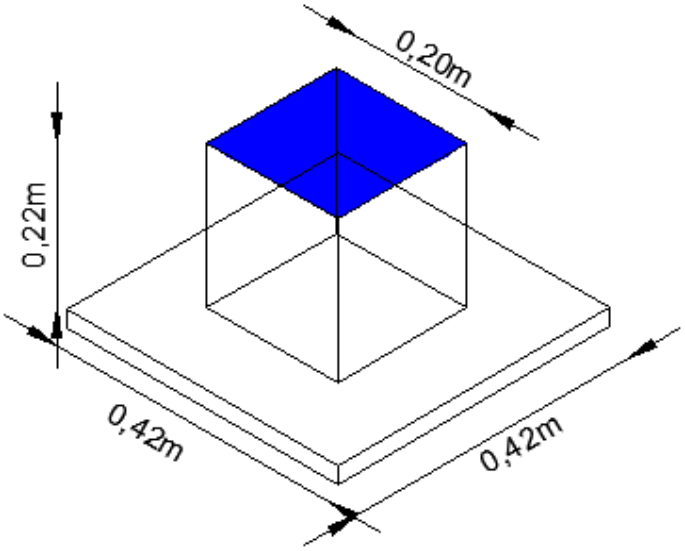


Figura 125. Estructura del simulador.
Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 61. Simulado
Fuente: Elaboración propia.

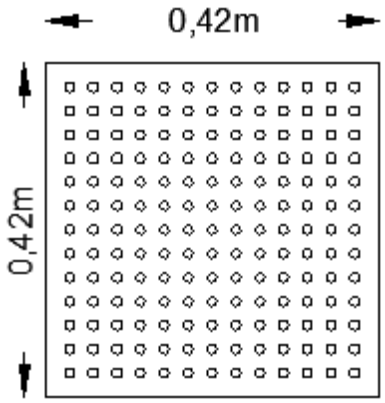


Figura 126. Regadera.
Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Está compuesto de 169 capilares con un diámetro de 2,4mm, produciendo gotas de 4,4mm con una masa de 0,0446gr.
- ✓ Dependiendo de la cantidad de los capilares, diámetro de la gota de lluvia simulada y la postura del tubo de aireación, se pueden producir lluvias de diferentes intensidades.
- ✓ Regulador de presión interno (Principio de la botella de Mariotte: este principio trabaja usando la gravedad, presión según el nivel de referencia y la presión total en dos puntos diferentes) para generar una lluvia uniforme en tiempo y espacio (Ing. Monge Jeremías & Ing.Aguilar Pereira, Agosto 2008)
- ✓ Soporte metálico ajustable para la estructura de acrílico



Fotografía 62. Soporte metálico.
Fuente: Elaboración propia.

✓ Pala acrílica para el transporte y recolección de muestras



Fotografía 63. Pala acrílica.
Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Probeta de laboratorio de 1000ml para recolección del agua



Fotografía 63. Probeta1000ml.
Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Embudo para el abastecimiento de agua del simulador



Fotografía 64. Embudo.
Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 65. Recolección de agua en el simulador.
Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 66. Simulador de lluvia.
Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Tamiz #200 para la recolección de sedimentos



Fotografía 67. Tamiz #200.
Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Recipiente y fundas plásticas para recolección de sedimentos





Fotografía 68 y 69. Recipiente y fundas para recolección de sedimentos.
Fuente: Elaboración propia.

10.6. Climatología del área de trabajo

En la ciudad de quito se registra un clima muy variado considerado como un clima subtropical de tierras altas. Durante marzo, abril y mayo, en los meses que se ejecutó el ensayo de precipitación, en la ciudad se registraron temperaturas variables entre los 9°C y 19°C.

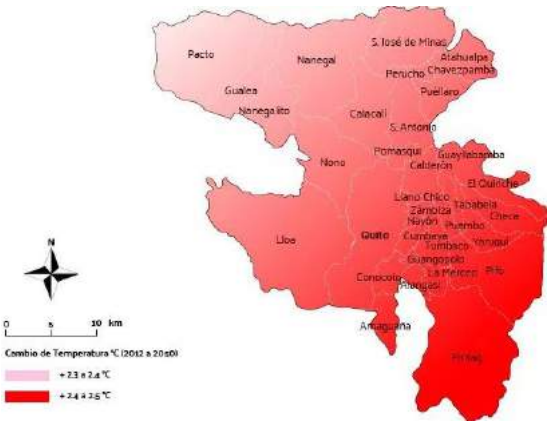


Figura 126. Clima de Quito Ecuador – Características, tipo de clima y temperaturas promedio
Fuente: (Foros Ecuador, 2018)

10.7. Descripción y características del los taludes

Los taludes fueron diseñados para realizar un seguimiento sobre la incidencia de las características hidrológicas ya mencionadas en el capítulo 7 y erosivas sobre la superficie los especímenes de prueba que fueron sometidos a una secuencia de simulaciones de precipitación.

10.7.1. Características geométricas de los taludes:

Talud con 15° de inclinación

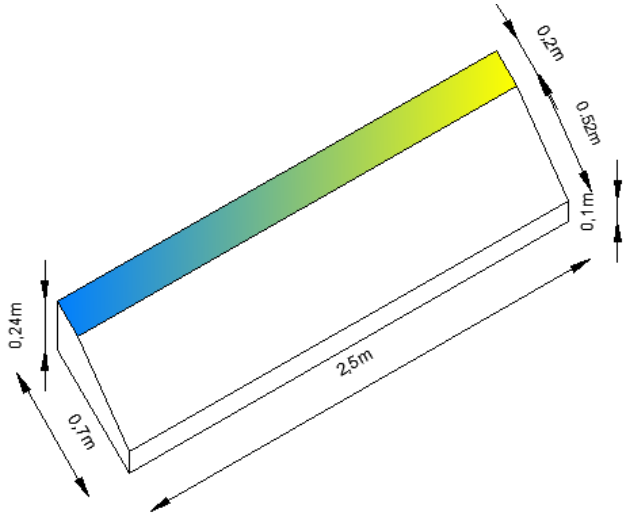


Figura 127. Geometría talud 15°.
Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 70. Talud 15° sin recubrimiento.
Fuente: Elaboración propia.

Talud con 30° de inclinación

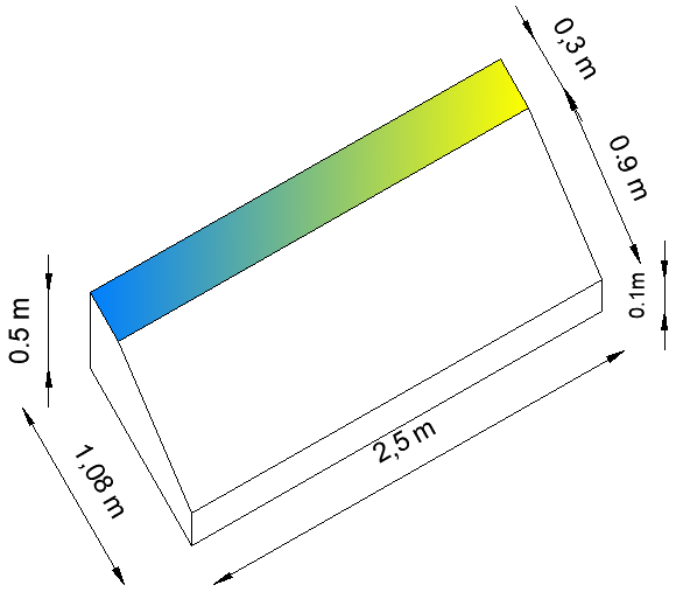


Figura 128. Geometría talud 30°.
Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 71. Talud 30° sin recubrimiento.
Fuente: Elaboración propia.

Talud con 45° de inclinación

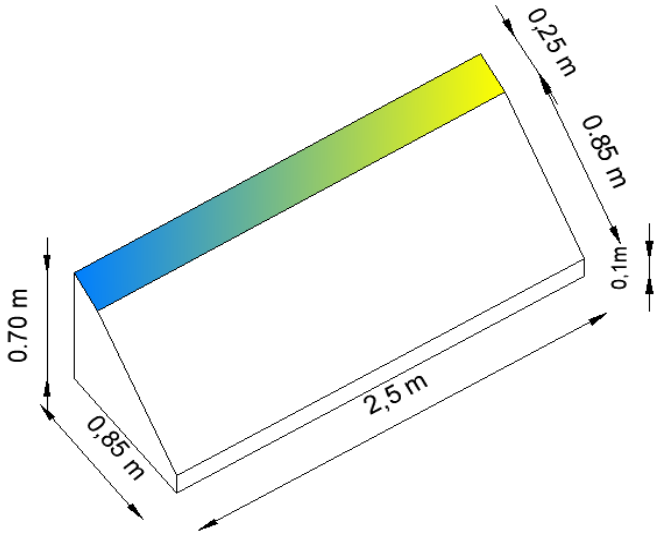


Figura 129. Geometría talud 45°.
Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 72. Talud 45° sin recubrimiento.
Fuente: Elaboración propia.

10.7.2. Taludes con Instalación de los geomantos

Talud con 15° de inclinación



Fotografía 73. Talud 15° con recubrimiento.
Fuente: Elaboración propia.

Talud con 30° de inclinación



Fotografía 74. Talud 30° con recubrimiento.
Fuente: Elaboración propia.

Talud con 45° de inclinación



Fotografía 75. Talud 45° con recubrimiento.
Fuente: Elaboración propia.

10.8. Calibración del Simulador de lluvia

Antes de empezar los ensayos es importante realizar la calibración del equipo, para que el simulador tenga un correcto funcionamiento. Para adquirir representatividad en las mediciones, se requiere un rango de descarga fijo a través de la simulación. Por lo tanto, los capilares deben de estar sin obstrucciones y la regadera tiene que calibrarse antes de usarse en el campo de prueba. El rango de descarga está directamente relacionado con la temperatura del agua (Ing. Monge Jeremías & Ing.Aguilar Pereira, Agosto 2008).

- ✓ Para realizar la calibración, el simulador debe ser instalado en una zona de prueba, no es recomendable realizarlo sobre la muestra porque esta puede ser alterada.
- ✓ Primero se debe instalar el soporte ajustable a la altura que se requiera ensayar
- ✓ Cerrar el tubo de aireación con el tapón y colocar el equipo sobre el armazón
- ✓ El equipo debe estar invertido para que el tanque se llene lo suficientemente de agua para el ensayo

- ✓ Como la regadera se llena y todo el aire tiene salida por los capilares, el tubo puede estar desconectado. El flujo de agua puede detenerse por el movimiento del tubo encima del tanque de almacenamiento de agua (Ing. Monge Jeremías & Ing.Aguilar Pereira, Agosto 2008).
- ✓ Después de llenar la regadera, anote la temperatura del agua y ponga el tapón en la abertura de llenado.

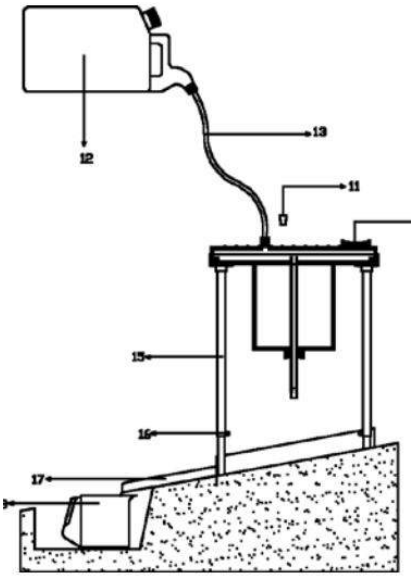


Figura 130. Esquema de llenado del simulador.
Fuente: (Ing. Monge Jeremías & Ing.Aguilar Pereira, Agosto 2008, pág. 9).

- ✓ Voltear el equipo a su posición original



Fotografía 76. Calibración.
Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Ajuste la intensidad de lluvia usando el tubo de aireación con diferentes intensidades de lluvia, entre más arriba esté el tubo de aireación mayor será la intensidad de lluvia (Ing. Monge Jeremías & Ing.Aguilar Pereira, Agosto 2008).
- ✓ Hay que tomar en cuenta que esta intensidad también depende de la temperatura del agua. La viscosidad del agua depende de la temperatura de la misma, entonces esto puede influenciar la intensidad de la lluvia de la regadera (Ing. Monge Jeremías & Ing.Aguilar Pereira, Agosto 2008).
- ✓ Siempre calibre y pruebe la intensidad de lluvia requerida antes de hacer la primera medición en el terreno. Esto se puede hacer con una pequeña probeta midiendo el tiempo que tarda en llenarse un volumen conocido (Ing. Monge Jeremías & Ing.Aguilar Pereira, Agosto 2008).



Fotografía 77. Calibración.
Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Anotar el nivel del agua, comience la simulación e inicie el cronometro para posteriormente anotar los valores marcados por el cronometro y el nivel final de agua.
- ✓ Hacer este procedimiento a diferentes capilares para llegar a definir una intensidad promedio con los datos obtenidos (Ing. Monge Jeremías & Ing.Aguilar Pereira, Agosto 2008).
- ✓ Repita las veces que sean necesarias hasta obtener los todos los datos que se requieran hasta obtener la calibración deseada en el equipo.





Fotografía 78 y 79 . Calibración.
Fuente: Elaboración propia.

10.9. Instalación del Simulador en el área de prueba

- ✓ Seleccionar el área de prueba ésta debe estar intacta.
- ✓ Instalar el armazón a una altura de 50cm de la superficie de prueba
- ✓ Colocar el armazón acrílico fijado sobre el suelo enterrándolo unos centímetros. El armazón tiene la intensión de prevenir los movimientos laterales del agua, permitiendo delimitar el área de superficie para evitar que aguas externas a la simulación entren en el área de estudio o para que el agua de lluvia simulada no salga del área de prueba (Ing. Monge Jeremías & Ing.Aguilar Pereira, Agosto 2008).
- ✓ Cerrar el tubo de aireación con el tapón y colocar el equipo de forma invertida sobre el armazón
- ✓ En la parte baja del talud instalar la pala y el recipiente para la recolección de la escorrentía y sedimentos
- ✓ Abastecer de agua el tanque, revisar si ya está en el nivel de agua requerida y voltear boca arriba el simulador.



Fotografía 80. Instalación del simulador en el área de prueba.
Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Ajustar el tubo de aireación a la intensidad de lluvia requerida y empezar la simulación.
- ✓ La secuencia del riego se realizó de izquierda a derecha, intentando mantener un orden estandarizado para cada una de las muestras



Fotografía 81. Recolección de sedimentos.
Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Después de la simulación colocar el tapón del tubo de aireación para detener el agua.

- ✓ El sedimento que se encuentra en el recipiente ya está listo para ser medido y pesado como se indica a continuación:
  - Infiltración (volumen total inicial de agua del tanque menos la cantidad de lluvia que no alcanzo a infiltrar en el suelo) se mide en la probeta de laboratorio unidades de medida en milímetros
  - Escorrentía (agua + sedimento desprendido de la lluvia) cantidad de agua que se recogió en el recipiente de recolección, este se mide en la probeta de laboratorio unidades de medida en milímetros



Fotografía 82. Recolección de datos de infiltración y escorrentía.
Fuente: Elaboración propia.

  - Erosión (cantidad de suelo desprendido del talud) se pasa la escorrentía por el tamiz #200, se recoge el suelo desprendido para ser pesado y se colocado en el horno para obtener el peso seco en gramos y poder realizar los análisis de datos pertinentes.




Fotografía 83 y 84. Recolección de datos de erosión.
Fuente: Elaboración propia.

10.10. Recolección de datos

Para la recolección de datos se realizó detalladamente una matriz donde nos proporciona los datos de: fecha de ensayo, precipitación, intensidad, altura de caída de la gota, energía cinética producida, cantidad de suelo erosionado, cantidad de escorrentía, volumen de infiltración y la memoria fotográfica diaria del ensayo en cada espécimen, en la sección 13.3 se indica el seguimiento que se dio a cada muestra de suelo.



DÍA 1 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):		235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:			19,66mm/día					FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		18/3/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	

Figura 131. Registro de datos.
Fuente: Elaboración propia.

Datos del ensayo	
Intensidad	19,66 mm/día
Precipitación	3,42 L / 3420 ml
Altura de caída de la gota	50 cm
Energía Cinética	4363,37 J/m2
Temperatura del agua	20°C

Tabla 48. Registro de datos.
Fuente: Elaboración propia.

10.11. Resultados obtenidos

10.11.1. Resultados de Infiltración

A continuación, se presentan los valores de infiltración en cada talud, los valores se obtuvieron en un periodo de 12 días de riego, estos se representan en una curva Milímetros vs. Días, se puede observar de una manera más detallada en la sección 13.4.

La superposición de curvas mostradas a continuación de cada muestra es el resultado del promedio del registro de valores acumulado de cada espécimen son dos por cada muestra (desnudo, fibra de coco y sintética) se puede observar cada curva acumulada de cada muestra respectiva en el inciso 13.4.

Talud	**Infiltración (ml)**		
	Sin recubrimiento	*Recubierto con geomanto de Fibra Sintética*	*Recubierto con geomanto de Fibra de Coco*
15°	27070	31975	33150
30°	26530	30785	32500
45°	22225	27675	31500

Tabla 49. Registro de datos.
Fuente: Elaboración propia.

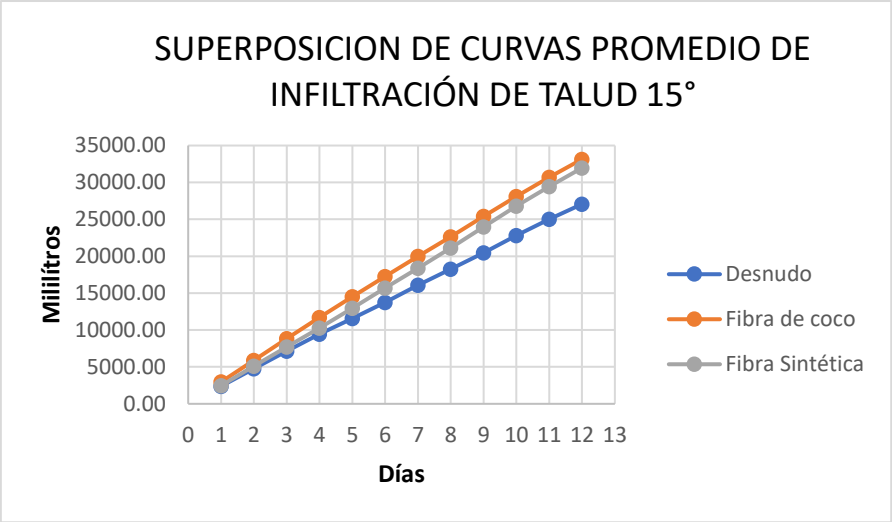


Gráfico 24.Superposición de curvas de infiltración promedio de talud 15°
Fuente: Elaboración propia.

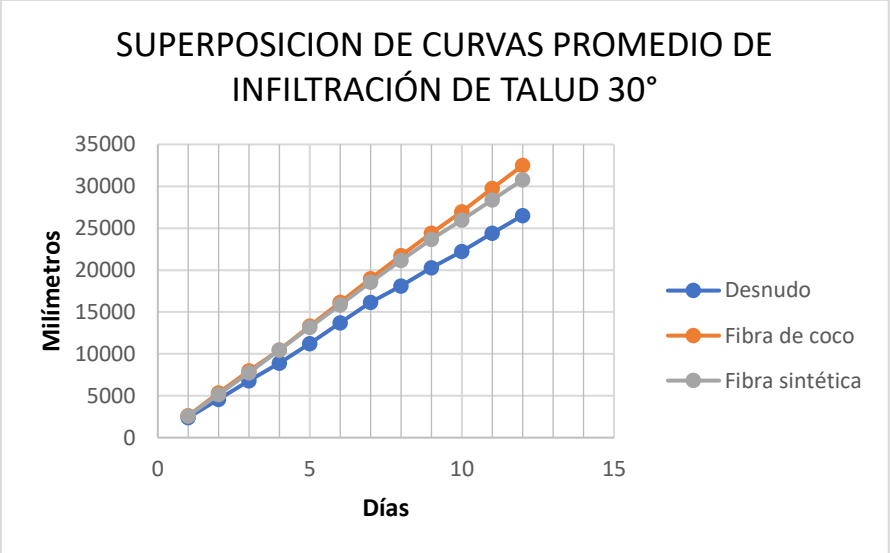


Gráfico 25. Superposición de curvas de infiltración promedio de talud 30°
Fuente: Elaboración propia.

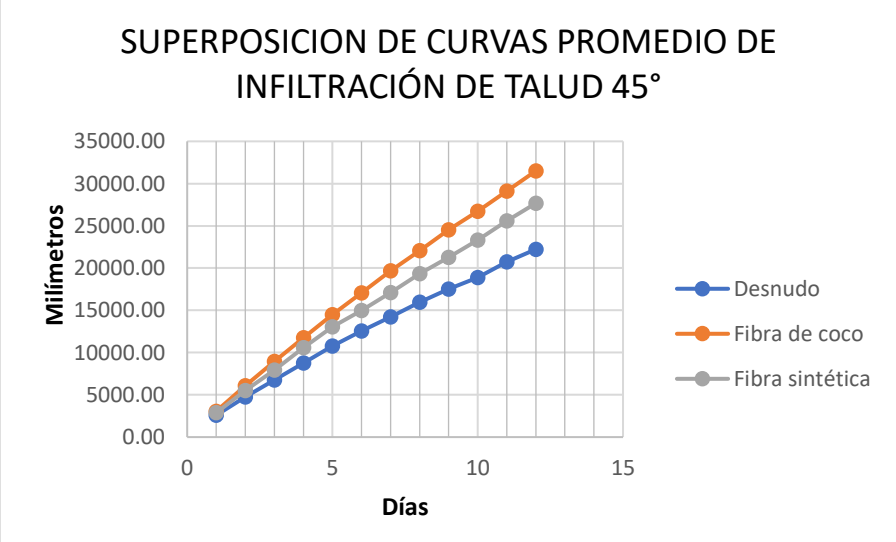


Gráfico 26. Superposición de curvas de infiltración promedio de talud 45°
Fuente: Elaboración propia..

10.11.2. Resultados de Escorrentía

A continuación se presentan los valores de escorrentía en cada talud, los valores se obtuvieron en un periodo de 12 días de riego, estos se representan en una curva Milímetros vs. Días, se puede observar de una manera más detallada en la sección 13.5.

Talud	**Escorrentía (ml)**		
	Sin recubrimiento	*Recubierto con geomanto de Fibra Sintética*	*Recubierto con geomanto de Fibra de Coco*
15°	14800	11775	9040
30°	16085	12185	9255
45°	23065	14995	10855

Tabla 50. Registro de datos.
Fuente: Elaboración propia.

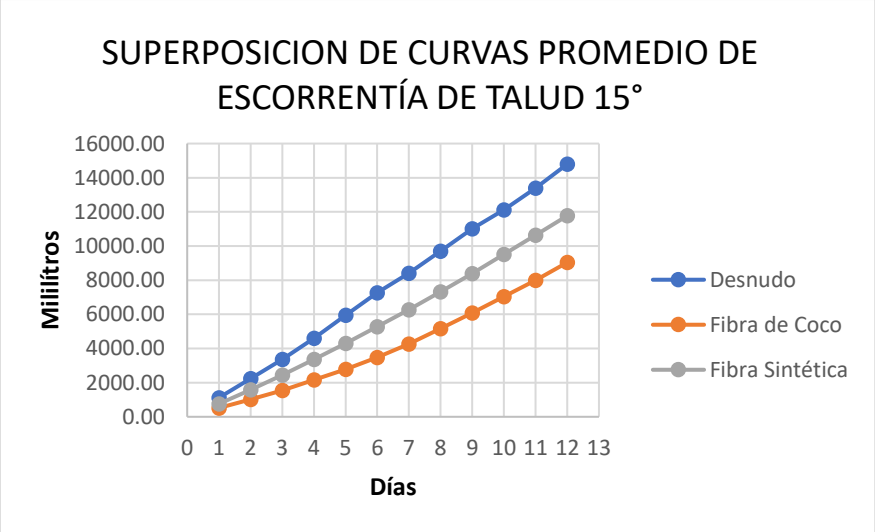


Gráfico 27. Superposición de curvas de escorrentía promedio de talud 15°
Fuente: Elaboración propia.

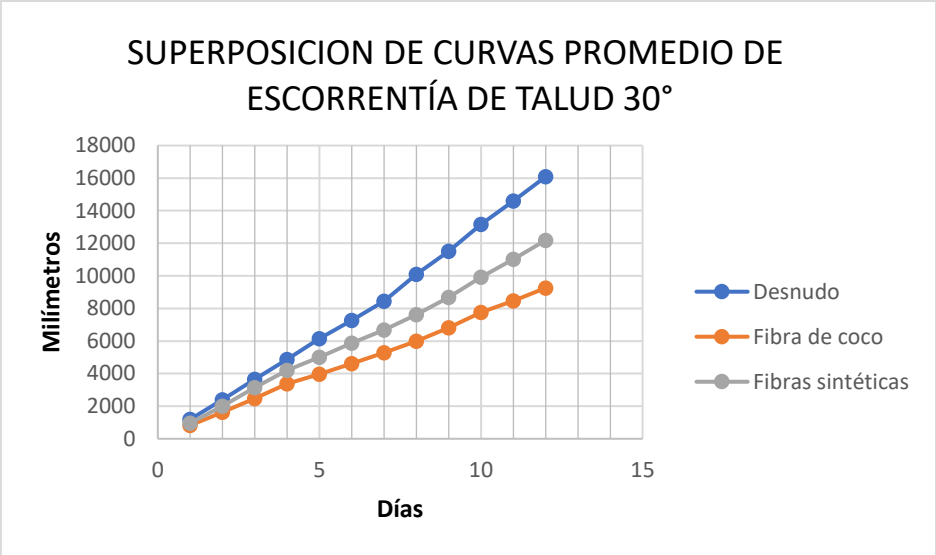


Gráfico 28. Superposición de curvas de escorrentía promedio de talud 30°
Fuente: Elaboración propia.

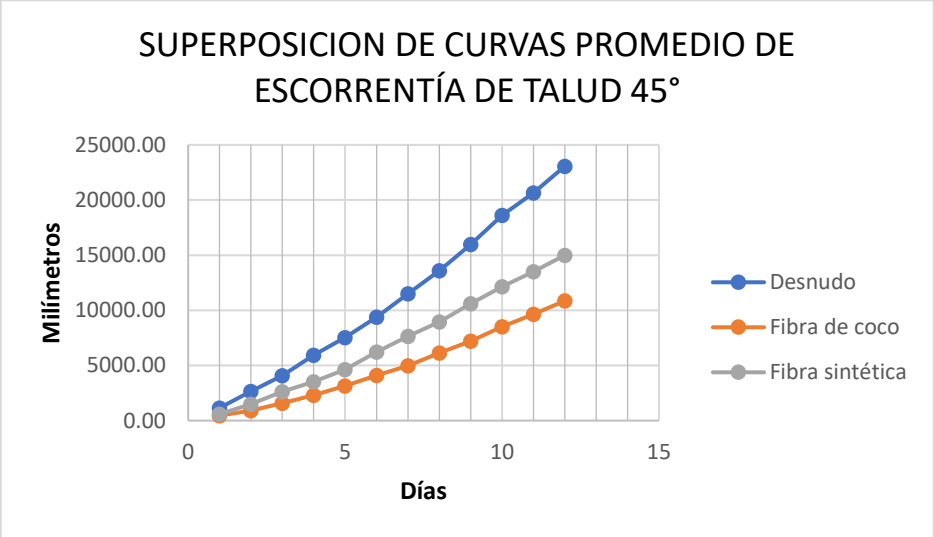


Gráfico 29. Superposición de curvas de escorrentía promedio de talud 45°
Fuente: Elaboración propia.

10.11.3. Resultados de Erosión

A continuación, se presentan los valores de infiltración en cada talud, los valores se obtuvieron en un periodo de 12 días de riego, estos se representan en una curva Gramos vs. Días, se puede observar de una manera más detallada en la sección 13.6.

Talud	Erosión (gr)		
	Sin recubrimiento	*Recubierto con geomanto de Fibra Sintética*	*Recubierto con geomanto de Fibra de Coco*
15°	2005,16	1204,69	949,13
30°	2172,71	1411,96	1099,67
45°	5671,79	1616,73	1189,04

Tabla 51. Registro de datos.
Fuente: Elaboración propia.

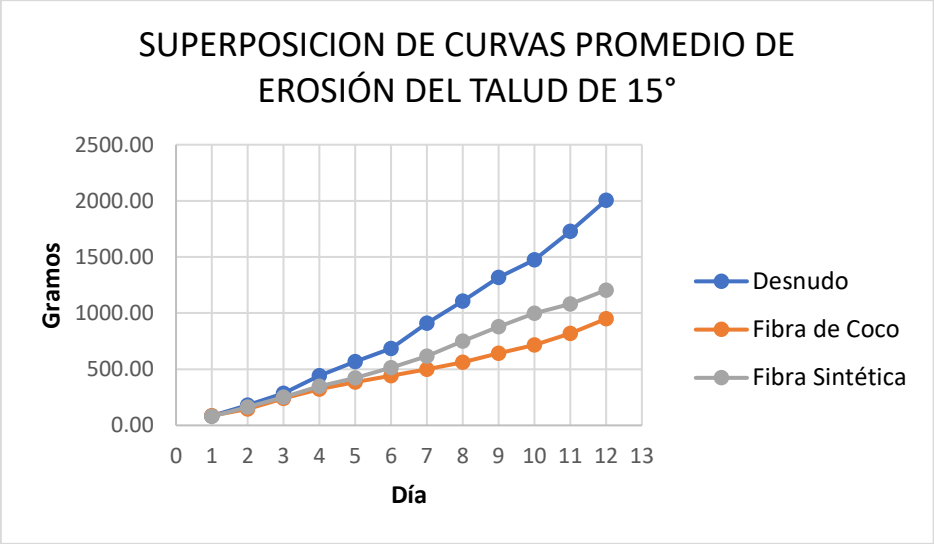


Gráfico 30. Superposición de curvas promedio de erosión del talud 15°
Fuente: Elaboración propia.

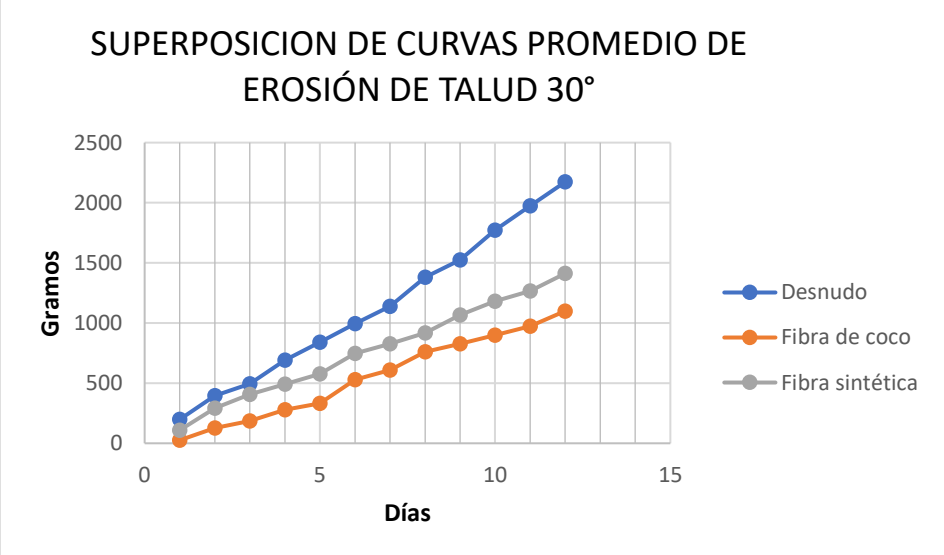


Gráfico 31. Superposición de curvas promedio de erosión del talud 30°
Fuente: Elaboración propia.

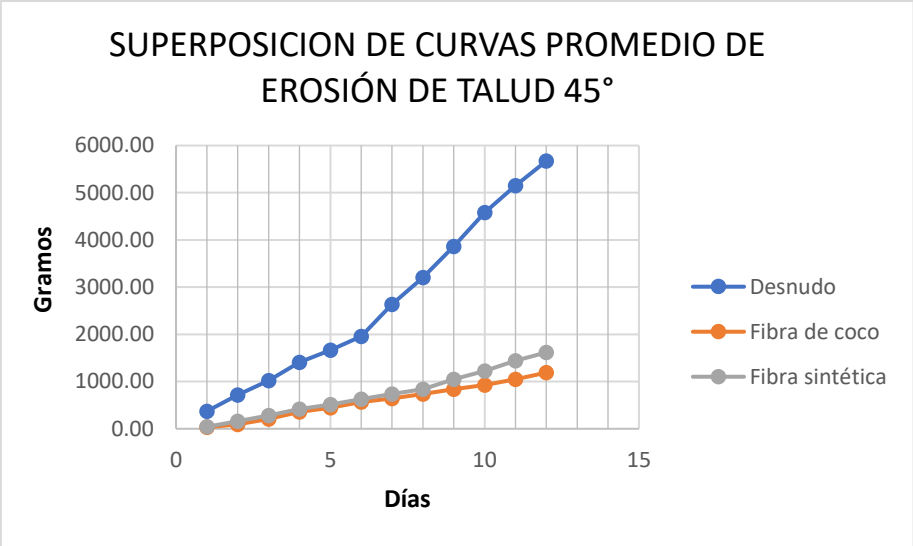


Gráfico 32. Superposición de curvas promedio de erosión del talud 45°
Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 85. Talud de 15° después de ser regado por 12 días y antes de sacar el recubrimiento.
Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 86. Talud de 15° sin recubrimiento después de 12 días de riego
Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 87. Talud de 30° después de ser regado por 12 días y antes de sacar el recubrimiento. Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 88. Talud de 30° sin recubrimiento después de 12 días de riego. Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 89. Talud de 45° después de ser regado por 12 días y antes de sacar el recubrimiento, Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 90. Talud de 45° sin recubrimiento después de 12 días de riego.
Fuente; Elaboración propia.

10.11.4. Ensayos de Corte Directo (CD) después del ensayo de precipitación

Se tomó una muestra del suelo sin recubrimiento después de los 12 días de riego, en cada inclinación, ya que estas presentaban una mayor afección por erosión hídrica a comparación de las muestras recubiertas con geomantos.

Las muestras se tallaron a 5cm debajo de la capa más afectada por la infiltración observada.



Fotografía 91. Toma de muestras para ensayo de Corte Directo
Fuente: (Elaboración Propia).

es

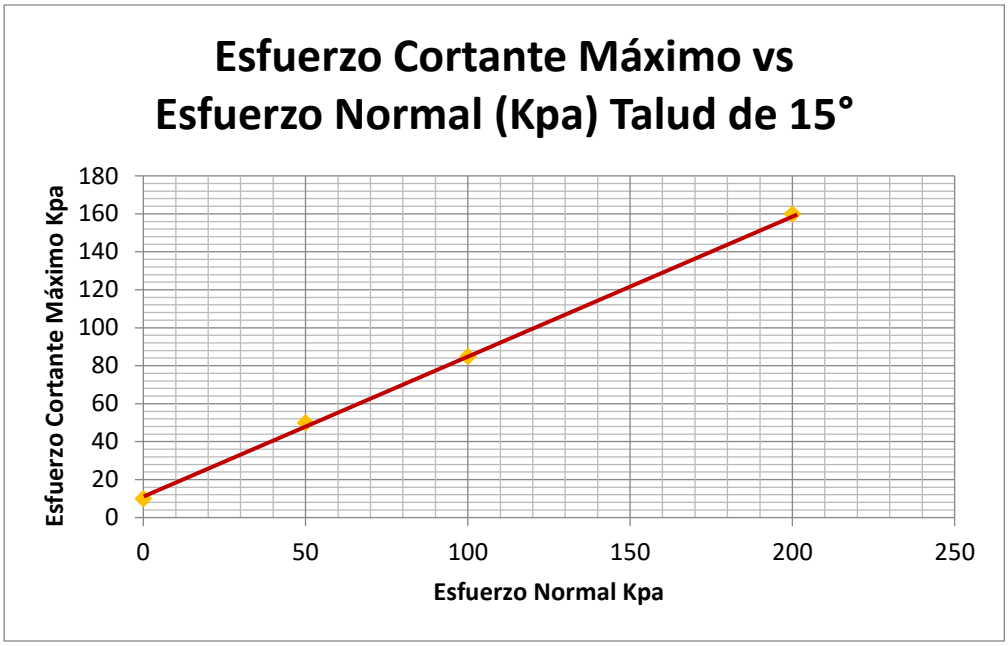


Gráfico 33. Corte Directo 15°.
Fuente: (Elaboración Propia).

Ángulo de resistencia al corte	26,17°
Cohesión aparente	4,59 Kpa

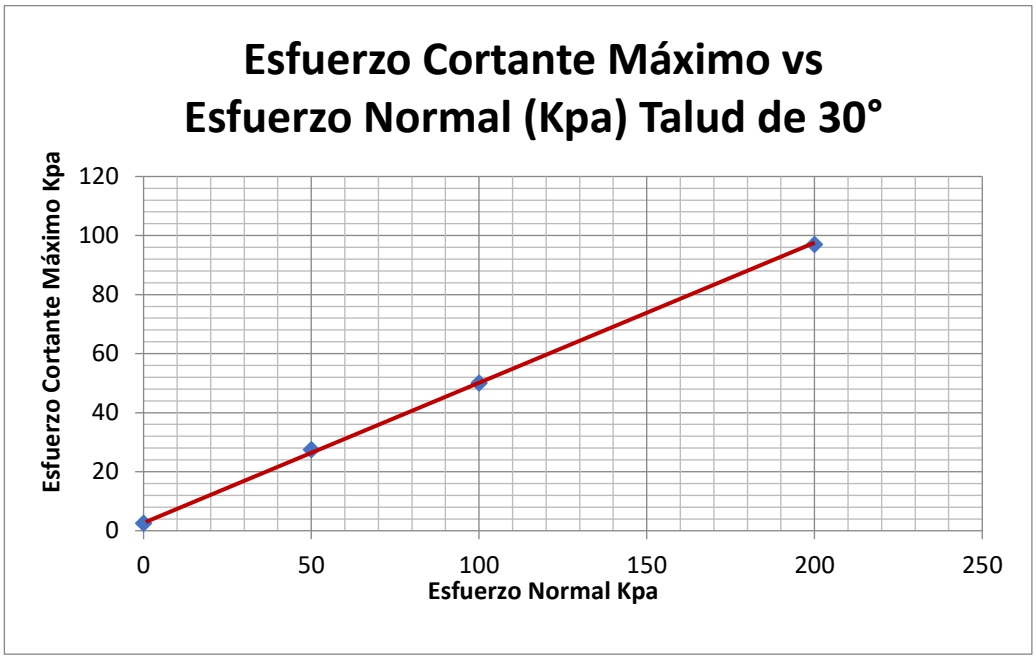


Gráfico 34. Corte Directo 30°.
Fuente: (Elaboración Propia).

Ángulo de resistencia al corte	25,20°
Cohesión aparente	3,41 Kpa

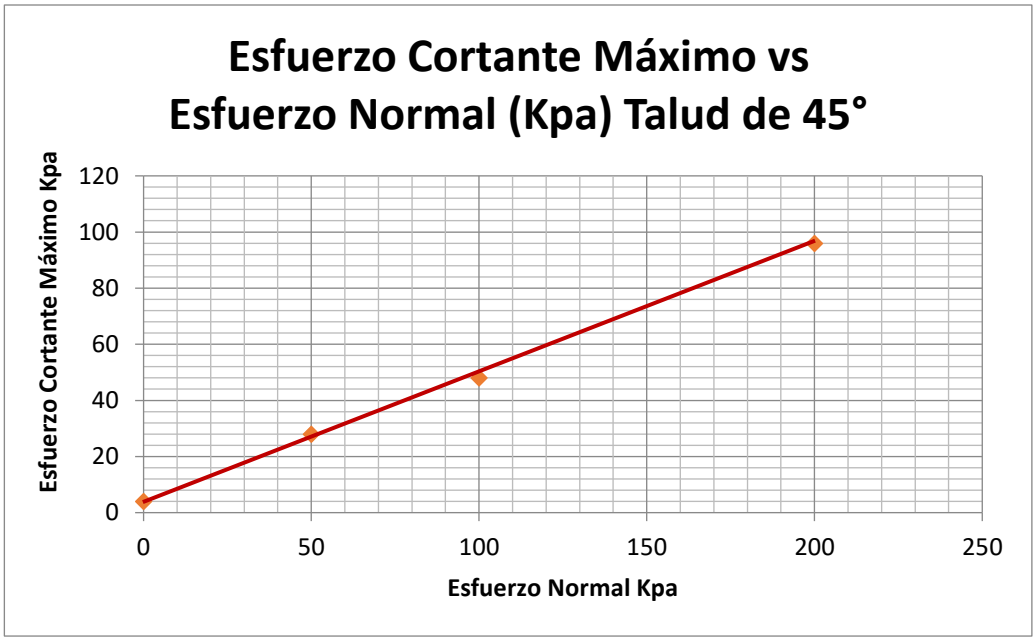


Gráfico 35. Corte Directo 45°.
Fuente: (Elaboración Propia).

Ángulo de resistencia al corte	24,56°
Cohesión aparente	3,79 Kpa

10.12. Resultados obtenidos en el programa OPTUM G-2

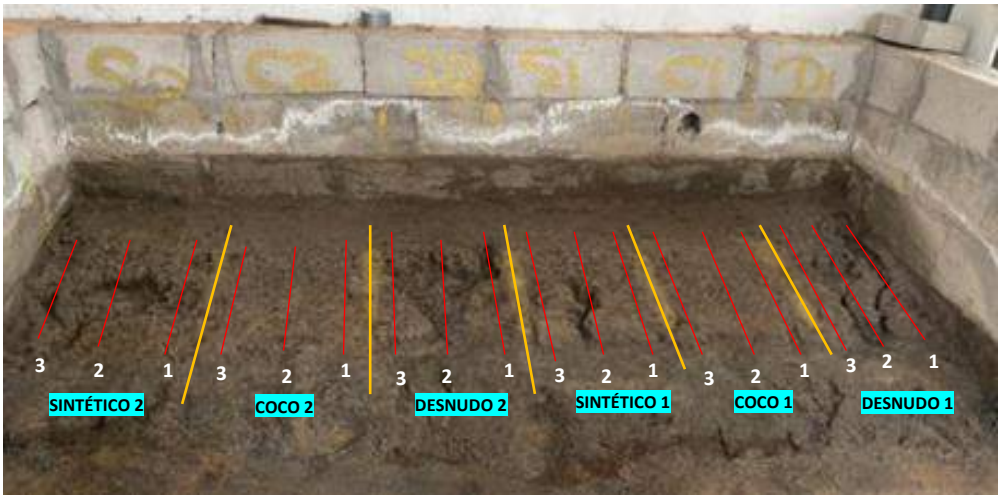
El registro del programa se encuentra adjuntado en la sección 13,7, se procedió a realizar mediciones en 3 cortes por cada muestra de la siguiente manera; se tomó medidas en campo de cada muestra ensayada en los surcos formados tanto horizontal como verticalmente y sus respectivas profundidades en donde se encontró mayor daño en el talud. Una vez realizada la topografía en cada muestra se procedió a graficar en AutoCad Cada modelo por su facilidad de manejo con el usuario para después importar los perfiles en archivos DXF directamente al software Optum G-2, en donde más se observó reflejado el desempeño de cada muestra frente a cada simulación, dando un total de 108 simulaciones en software:

El programa se fundamenta en el cálculo de capacidad de carga para taludes, método análisis límite superior e inferior. En donde mientras mayor sea la cantidad de número de elementos a analizar (en nuestro caso 1000 por análisis) la solución se acercará a una solución real, ya que nuestro valor real de factor de reducción se encuentra entre el valor resultante del análisis superior e inferior. En la actualidad se usa este método en programas computacionales avanzados.

Se presenta un resumen de 3 modelos magnificados en escala a partir de los perfiles con las dimensiones acotadas en el archivo en AutoCad, con los parámetros del ensayo de corte de la muestra antes de ser ensayada.

A continuación, se presentan una tabla resumen por cada grupo de estudio:

Talud de 15°



Fotografía 92. Cortes del Talud de 15° sin recubrimiento después de 12 días de riego
Fuente: Elaboración propia.

TALUD DE 15° ANTES DE ENSAYAR				
MATERIAL	ESPÉCIMEN	CORTE	Strength Reduction Factor Lower	Strength Reduction Factor Upper
Desnudo	1	1	19,25	20,13

Tabla 52. Análisis de factor de reducción en talud inicial de 15°.
Fuente: Elaboración propia.

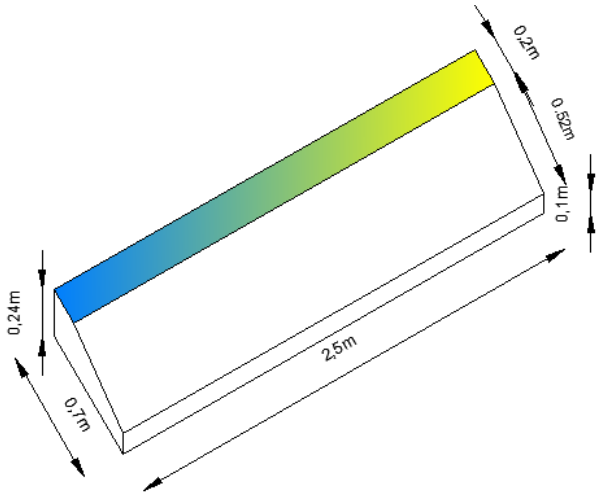


Figura 132. Geometría talud 15°.
Fuente: Elaboración propia.

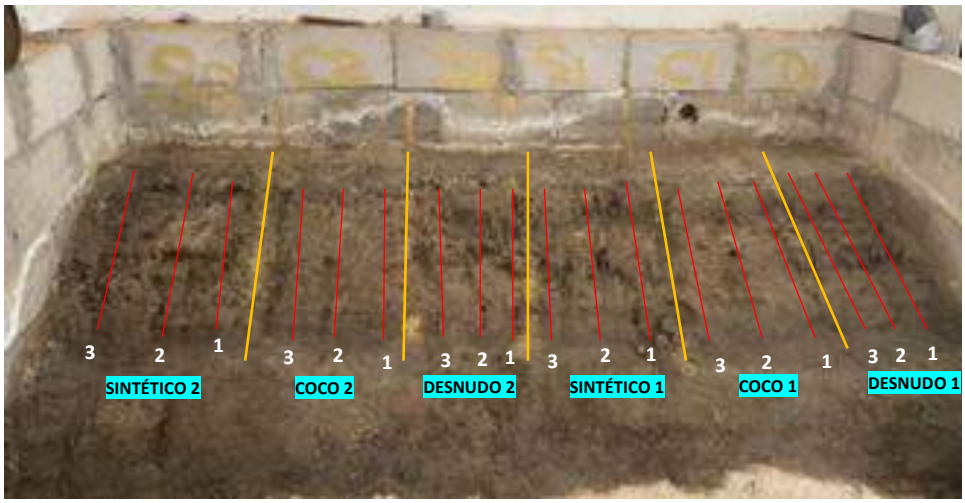
TALUD DE 15°				
Material	**Espécimen**	**Corte**	**Strength Reduction Factor lower**	**Strength Reduction Factor upper**
Desnudo	***1***	1	19,81	21,00
		2	14,38	15,12
		3	14,03	14,62
	2	1	22,88	24,03
		2	22,31	23,38
		3	22,88	24,12
Geomanto de fibra de coco	***1***	1	22,81	23,88
		2	21,56	22, 50
		3	22,12	23,00
	2	1	23,12	24,12
		2	22,02	23,00
		3	22,88	24,00
Geomanto de fibra sintética	***1***	1	22,88	24,00
		2	20,88	22,00
		3	22,62	23,75
	2	1	22,62	22,50
		2	22,81	23,88
		3	20,13	21,25

Tabla 53. Resultados Optum G -2 15°
Fuente: (Elaboración Propia).

Talud de 15° después de ensayar				
Material	**Espécimen**	**Corte**	**Strength Reduction Factor lower**	**Strength Reduction Factor upper**
DESNUDO	1	1	16,073	16,913

Tabla 54 Análisis de factor de reducción OPTUM-G2 en talud después del riego talud 15°.
Fuente: Elaboración propia.

Talud de 30°



Fotografía 93. Cortes del Talud de 30° sin recubrimiento después de 12 días de riego.
Fuente: Elaboración propia.

TALUD DE 30° ANTES DE ENSAYAR				
MATERIAL	ESPÉCIMEN	CORTE	Strength Reduction Factor Lower	Strength Reduction Factor Upper
Desnudo	1	1	8,383	8,75

Tabla 55. Análisis de factor de reducción en talud inicial de 15°.
Fuente: Elaboración propia.

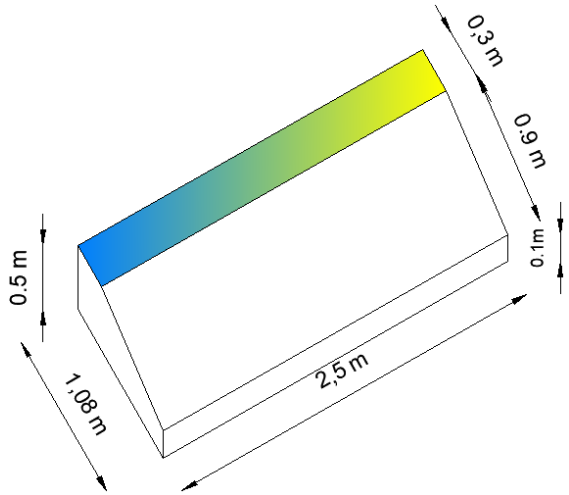


Figura 133 Geometría talud 30°.
Fuente: Elaboración propia.

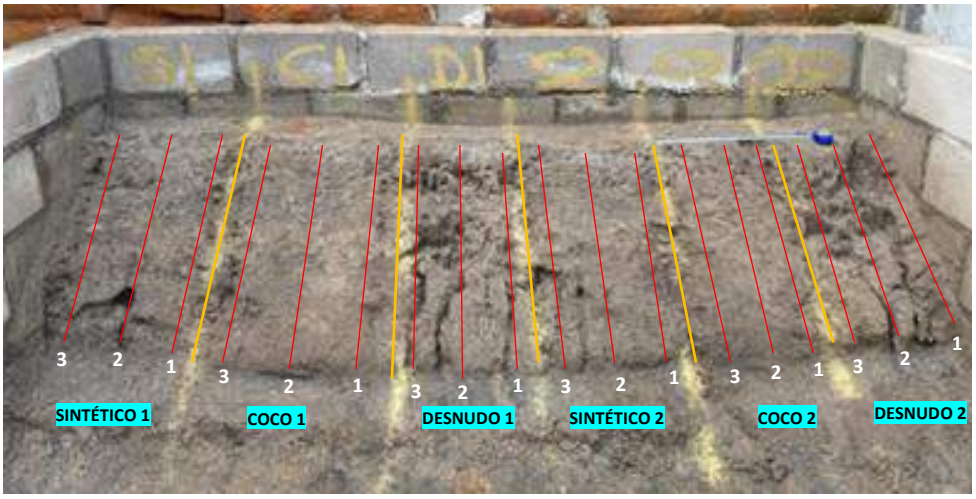
TALUD DE 30°				
Material	**Espécimen**	**Corte**	**Strength Reduction Factor lower**	**Strength Reduction Factor upper**
Desnudo	***1***	1	6,141	6,312
		2	5,391	5,516
		3	5,969	6,125
	2	1	6,016	6,188
		2	6,406	6,625
		3	6,516	6,75
Geomanto de fibra de coco	***1***	1	6,141	6,312
		2	6,562	6,766
		3	6,266	6,500
	2	1	6,438	6,750
		2	6,438	6,656
		3	5,969	6,188
Geomanto de fibra sintética	***1***	1	6,258	6,438
		2	6,438	6,625
		3	6,383	6,625
	2	1	6,562	6,875
		2	6,508	6,750
		3	6,531	6,750

Tabla 56. .Resultados Optum -2 30°
Fuente: (Elaboración Propia).

Talud de 30° después de ensayar				
Material	**Espécimen**	**Corte**	**Strength Reduction Factor lower**	**Strength Reduction Factor upper**
DESNUDO	1	1	5,834	5,984

Tabla 57. Análisis de factor de reducción OPTUM G-2 después del riego talud de 30°.
Fuente: Elaboración propia.

Talud de 45°



Fotografía 94. Cortes del Talud de 45° sin recubrimiento después de 12 días de riego.
Fuente; Elaboración propia.

TALUD DE 45° ANTES DE ENSAYAR				
MATERIAL	ESPÉCIMEN	CORTE	Strength Reduction Factor Lower	Strength Reduction Factor Upper
Desnudo	1	1	4,453	4,656

Tabla 58. Análisis de factor de reducción en talud inicial de 15°.
Fuente: Elaboración propia.

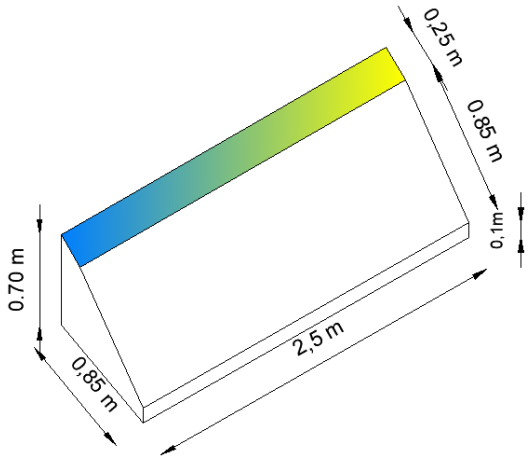


Figura 134. Geometría talud 45°.
Fuente: Elaboración propia.

TALUD DE 45°				
Material	**Espécimen**	**Corte**	**Strength Reduction Factor lower**	**Strength Reduction Factor upper**
Desnudo	***1***	1	3,828	3,938
		2	3,781	3,938
		3	3,781	3,906
	2	1	3,781	3,938
		2	3,719	3,828
		3	3,703	3,875
Geomanto de fibra de coco	***1***	1	3,719	3,844
		2	3,719	3,844
		3	3,703	3,844
	2	1	3,719	3,844
		2	3,719	3,875
		3	3,719	3,875
Geomanto de fibra sintética	***1***	1	3,688	3,781
		2	3,703	3,812
		3	3,594	3,719
	2	1	3,695	3,812
		2	3,750	3,875
		3	3,719	3,875

Tabla 59. Resultados Optum -2 45°
Fuente: Elaboración Propia.

Talud de 45° después de ensayar				
Material	**Espécimen**	**Corte**	**Strength Reduction Factor lower**	**Strength Reduction Factor upper**
DESNUDO	1	1	3,797	3,927

Tabla 60. Análisis del factor de reducción OPTUM G-2 después del riego talud 45°.
Fuente: Elaboración propia.

11. CAPÍTULO XI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1. Conclusiones

- Con la información obtenida del estudio se puede concluir que en taludes que presentan suelos con mayor cantidad de material arenoso, mientras mayor sea la inclinación del talud más susceptible es a presentar problemas de erosión laminar, por goteo y por surcos debido a una pérdida acumulada de suelo. Como se puede apreciar en las curvas (Erosión vs Días) y la evidencia fotográfica en la sección 13,3. El talud de 45° sin recubrimiento fue el que obtuvo una mayor cantidad de suelo erosionado con un total de 5671,79 gr, mientras que en el talud desnudo de 30° se registró 2172,71 gr y en el talud descubierto de 15° se obtuvo menor pérdida de suelo con un valor de 2005,16 gr. Se concluye que el talud de 45º de inclinación es el más susceptible a sufrir daño a comparación del talud de 15° es el que tiene menor daño.

Talud	**Erosión (gr)**
	Sin recubrimiento
15°	2005,16
30°	2172,71
45°	5671,79

Tabla 61. Resultados de erosión en taludes sin recubrimiento
Fuente: (Elaboración Propia).

- Las muestras cubiertas del material GMAT DS310 (geomanto de fibra sintética) registra una menor pérdida de suelo a comparación de las muestras sin recubrimiento como se indican en las curvas presentadas anteriormente, siendo el talud de 45° con mayor desprendimiento de suelo erosionado con pérdida acumulada promedio total de 1616,73 gr, mientras que el talud de 30° se registra 1411,96 gr y el talud de 15° obtuvo una pérdida menor de 1204,69 gr. Con esta información pudimos demostrar que el geomanto de control de erosión material GMAT VT400 reduce un 70% el desprendimiento de suelos arenosos, brindando una protección inmediata contra la erosión gracias a su estructura tridimensional porosa compuesta de fibras sintéticas resistentes. De esta manera calificamos a este

material con un buen desempeño ante el impacto de las precipitaciones simuladas debido a la menor cantidad de suelo perdido, controlando eficazmente la erosión.

Talud	Erosión (gr)
	Recubierto con geomanto de Fibra Sintética
15°	1204,69
30°	1411,96
45°	1616,73

Tabla 62. Resultados de erosión en taludes sin recubrimiento
Fuente: (Elaboración Propia).

- Los taludes cubiertos con el material GMAT VT400 (fibra de coco) obtuvieron un mayor rendimiento ya que proporcionó un mayor control de erosión, se registró que GMAT VT400 reduce un 80% la cantidad de suelo erosionado a comparación con los taludes sin recubrimiento, gracias a que el material cuenta con una malla y un espesor acolchado de 1 cm que provee una alta protección contra la erosión. Calificando a este material con un excelente desempeño ante el impacto de las precipitaciones simuladas debido a que posee una menor tasa de pérdida de suelo por la influencia de agua.

Talud	Erosión (gr)
	Recubierto con geomanto de Fibra de Coco
15°	949,13
30°	1099,67
45°	1189,04

Tabla 63. Resultados de erosión en taludes sin recubrimiento
Fuente: (Elaboración Propia).

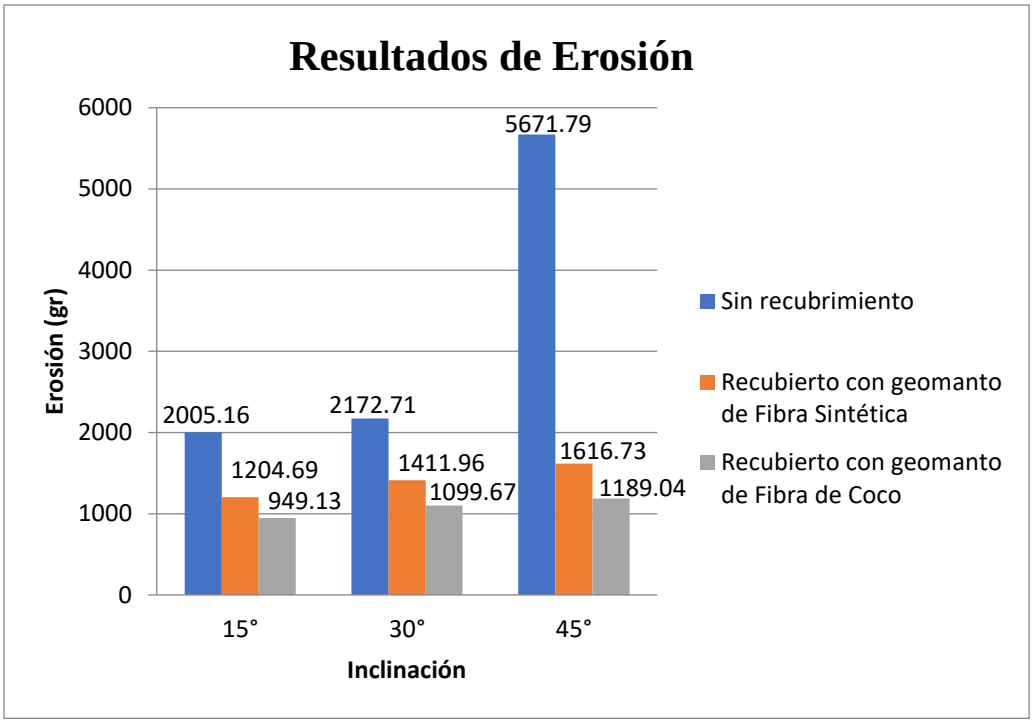


Gráfico 36.Resultados de erosión en taludes
Fuente: (Elaboración Propia).

- Después de haber realizado los ensayos correspondientes como se indica en la sección 10.11.2 se puede concluir que en un periodo de 12 días de riego las muestras desnudas son las más susceptibles a sufrir escorrentía superficial o directa produciendo escurrimiento concentrado formando surcos de erosión debido a la cantidad de agua que no logra ser infiltrada, como se puede apreciar en las curvas (Escorrentía vs Días) el talud de 45° sin recubrimiento fue el que obtuvo una mayor cantidad de escorrentía con un total de 23065 ml, mientras que en el talud desnudo de 30° se registró una pérdida por escorrentía de 16085 ml y en el talud descubierto de 15° se obtuvo un valor menor de 14800 ml, Esta diferencia es producto del grado de inclinación de cada talud siendo el de 45° el más susceptible a sufrir una mayor cantidad de escorrentía (suelo + agua que no alcanzo a infiltrar) mientras que el de 15° tiene menor pérdida por escorrentía.

Talud	**Escorrentía (ml)**
	Sin recubrimiento
15°	14800
30°	16085
45°	23065

Gráfico 37. Resultados de escorrentía en taludes sin recubrimiento
Fuente: (Elaboración Propia).

- Las muestras cubiertas del material GMAT DS310 (geomanto de fibra sintética) registra una menor pérdida de (suelo + agua que no alcanzó a infiltrar) a comparación de las muestras sin recubrimiento como se indican en las curvas presentadas anteriormente, siendo el talud de 45° con mayor desprendimiento de suelo erosionado con pérdida acumulada promedio total de 14995 ml, mientras que el talud de 30° registra una pérdida de 12185 ml y el talud de 15° obtuvo un menor valor de 11775 ml. El geomanto de control de erosión material GMAT VT400 reduce un 35% el desprendimiento de suelo más agua, brindando una protección inmediata contra la erosión gracias a su estructura tridimensional porosa compuesta de fibras sintéticas resistentes, calificando a este material un buen desempeño ante el impacto de las precipitaciones simuladas debido a la menor cantidad de escorrentía.

Talud	**Escorrentía (ml)**
	Recubierto con geomanto de Fibra Sintética
15°	11775
30°	12185
45°	14995

Tabla 64. Resultados de escorrentía en taludes recubierto con fibra sintética
Fuente: (Elaboración Propia).

- Los taludes cubiertos con el material GMAT VT400 (fibra de coco) obtuvieron un mayor rendimiento ya que proporcionó un mayor control a la erosión del suelo, además de que el GMAT VT400 registra una reducción de un 53% la cantidad del volumen de escorrentía a comparación con las muestras de taludes sin recubrimiento, gracias a que el material cuenta con una malla y un espesor acolchado de 1 cm que provee una alta protección al arrastre de sedimentos y proporciona una mayor absorción de agua y humedad. Este material presenta un excelente desempeño ante el impacto de las precipitaciones simuladas debido a que posee el producto una mayor densidad capaz de absorber mayor cantidad agua y retención de sedimentos, permitiendo reducir a más de la mitad la cantidad de (suelo + agua) a comparación de las muestras sin recubrimiento.

Talud	Escorrentía (ml)
	Recubierto con geomanto de Fibra de Coco
15°	9040
30°	9255
45°	10855

Tabla 65. Resultados de escorrentía en taludes recubierto con geomanto de fibra de coco
Fuente: (Elaboración Propia).

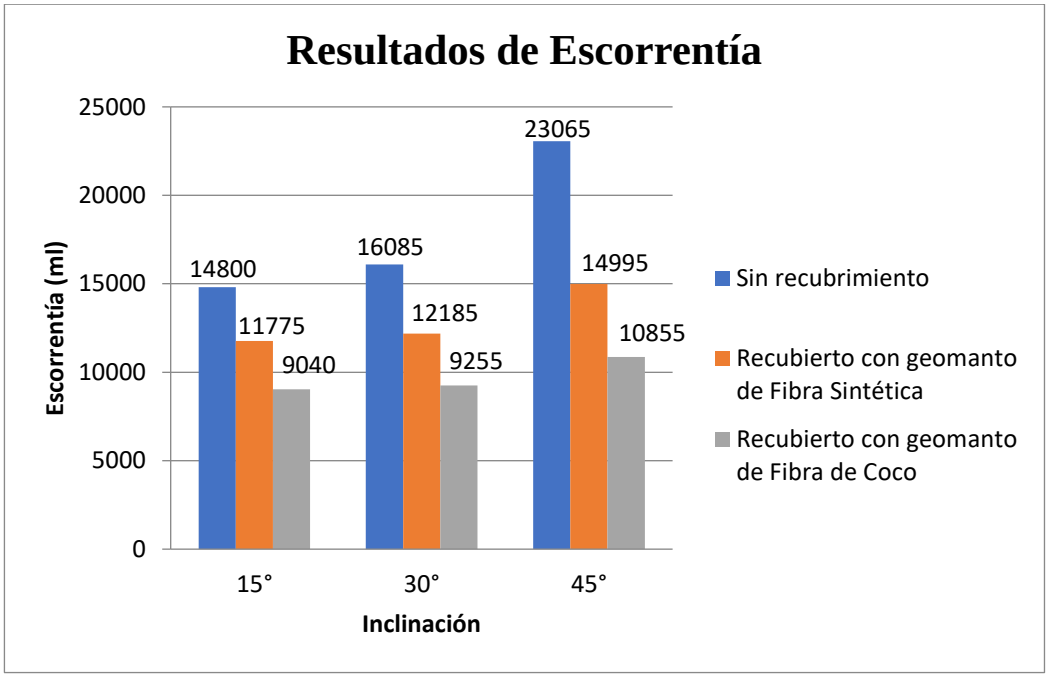


Gráfico 38. Resultados de escorrentía en taludes recubierto
Fuente: (Elaboración Propia).

- Después de haber realizado los ensayos correspondientes como se indica en la sección 10.11.1 se puede concluir que en un periodo de 12 días de riego las muestras desnudas son las que tuvieron una menor capacidad de infiltración de agua lluvia en las capas de suelo, debido a que el suelo se va saturando gradualmente, mientras que la velocidad de infiltración va disminuyendo hasta alcanzar una velocidad constante. La muestra que tuvo una mayor capacidad de infiltración fue el talud de 15° con un valor de 27070 ml, el talud de 45° sin recubrimiento tuvo una capacidad de agua infiltrada de 22225 ml, mientras que en el talud desnudo de 30° se registró 26530 ml. Esta diferencia es producto del grado de inclinación de cada talud.

Talud	Infiltración (ml)
	Sin recubrimiento
15°	27070
30°	26530
45°	22225

Tabla 66. Resultados de infiltración en taludes sin recubrimiento
Fuente: (Elaboración Propia).

- Las muestras cubiertas del material GMAT DS310 (geomanto de fibra sintética) registra una menor pérdida de suelo por ende mayor infiltración a comparación de las muestras sin recubrimiento como se indican en las curvas presentadas anteriormente, siendo el talud de 45° con una cantidad de infiltración de agua acumulada promedio total de 27675 ml, mientras que el talud de 30° tiene registra un valor de 30785 ml y el talud de 15° de 29620 ml. El geomanto de control de erosión GMAT DS310 permite un 20% más de cantidad de infiltración debido vs la muestra desnuda, a la absorción del material, gracias a su estructura tridimensional porosa compuesta de fibras sintéticas resistentes, calificando a este material un buen desempeño ante el impacto de las precipitaciones.

Talud	Infiltración (ml)
	Recubierto con geomanto de Fibra Sintética
15°	31975
30°	30785
45°	27675

Tabla 67. Resultados de infiltración en taludes recubierto con fibra sintética
Fuente: (Elaboración Propia).

- Los taludes cubiertos con el material GMAT VT400 (fibra de coco) obtuvieron un mayor rendimiento ya que proporcionó un mayor control de erosión y por ende mayor capacidad de infiltración, se registró que GMAT VT400 aumenta un 30% a la cantidad de absorción de agua a comparación con los taludes sin recubrimiento, gracias a que el material cuenta con un espesor acolchado de fibras biodegradables de 1 cm que provee una alta protección a la superficie del suelo y obteniendo el material una alta capacidad de absorción de agua.

Calificando a este material con un excelente desempeño ante el impacto de lluvia simulada debido a que posee una menor tasa de pérdida de suelo por la influencia del agua.

Talud	Infiltración (ml)
	Recubierto con geomanto de Fibra de Coco
15°	33150
30°	32500
45°	31500

Tabla 68. Resultados de erosión en taludes recubierto con geomanto de fibra de coco
Fuente: (Elaboración Propia).

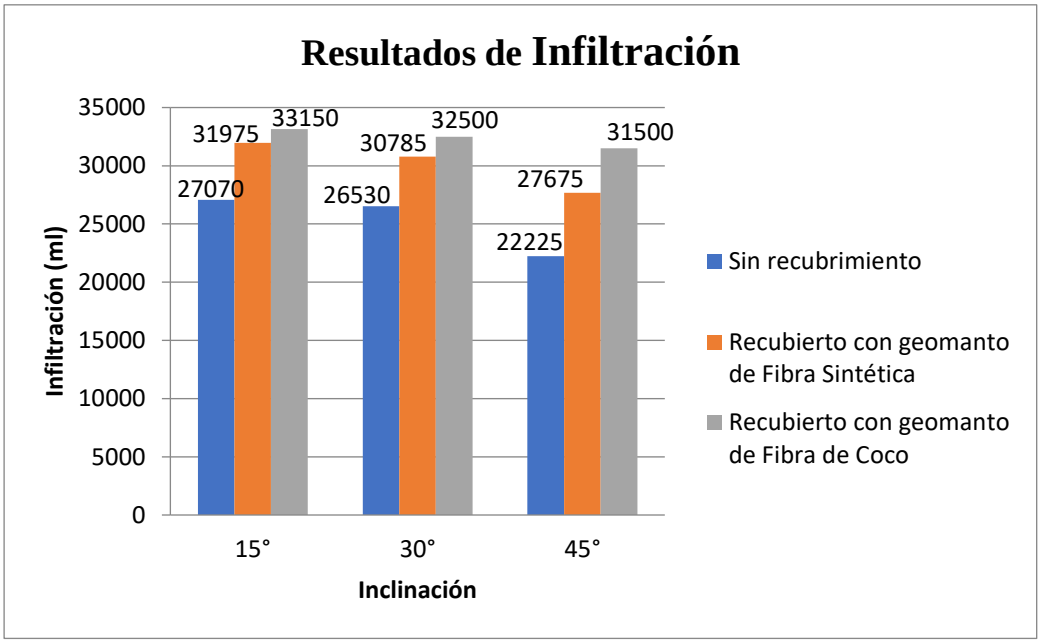


Gráfico 39. Resultados de infiltración en taludes sin recubrimiento
Fuente: (Elaboración Propia).

- Se puede concluir que en el ensayo de Corte Directo (CD) se pudo observar variaciones en las propiedades geomecánicas de los taludes antes y después de ser sometidos a las precipitaciones, debido a que las muestran sufren el cambios de humedad. En el talud de 45° se redujo el ángulo de fricción en un 31,09% mientras que la cohesión disminuyó un 10,8%, la muestra de 30° sufrió una reducción en el ángulo de resistencia al corte de 29,29% y la cohesión un 19,76% y finalmente el talud de 15° se disminuyó el ángulo de fricción un 26,57% y la cohesión tiene una variación del 8%. De esta manera se puede decir

al momento de representar los datos en la envolvente de falla de Mohr Coulomb se puede visualizar una reducción de los parámetros, debido a que el agua disminuye las esfuerzos normales entre las partículas, separándolas y por ende disminuyendo el valor de la resistencia al corte del suelo. Como se muestra:

Ensayo Corte Directo (CD) de la muestra antes de ser ensayada	
Ángulo de resistencia al corte	35,64°
Cohesión aparente	4,25 Kpa

Tabla 69. .Resultados de Ensayo Corte Directo (CD) de la muestra antes de ser ensayada
Fuente: (Elaboración Propia).

Ensayo Corte Directo (CD) de las muestras después de ser ensayadas			
Propiedades	**Talud 15°**	**Talud 30°**	**Talud 45°**
Ángulo de resistencia al corte	26,17°	25,20°	24,56°
Cohesión aparente	4,59 Kpa	3,41 Kpa	3,79 Kpa

Tabla 70. Resultados de Ensayo Corte Directo (CD) de las muestras después de ser ensayadas
Fuente: (Elaboración Propia).

- En el software Optum G-2 cada talud fue analizado con 1000 números de elementos tanto en límite en el superior como inferior, como se observa más detalladamente en la sección 10.12**.** En total se realizaron 36 análisis en las áreas más afectadas en cada talud, se pudo observar que en el talud de 45° se obtuvo una disminución de 15,204 % en el factor de reducción, mientras que en el talud de 30° una disminución del 31,02 % y en la muestra de 15° un 16,237%. Estos valores se obtienen debido al factor escala que presenta cada talud.

Talud de 15° antes de ensayar				
Material	**Espécimen**	**Corte**	**Strength Reduction Factor lower**	**Strength Reduction Factor upper**
DESNUDO	1	1	19,25	20,13
Talud de 15° después de ensayar				
Material	**Espécimen**	**Corte**	**Strength Reduction Factor lower**	**Strength Reduction Factor upper**
DESNUDO	1	1	16,073	16,913

Tabla 71. Comparación Factores de reducción OPTUM G-2 del talud sin recubrimiento de 15°.
Fuente: Elaboración propia.

Talud de 30° antes de ensayar				
Material	**Espécimen**	**Corte**	**Strength Reduction Factor lower**	**Strength Reduction Factor upper**
DESNUDO	1	1	8,383	8,750
Talud de 30° después de ensayar				
Material	**Espécimen**	**Corte**	**Strength Reduction Factor lower**	**Strength Reduction Factor upper**
DESNUDO	1	1	5,834	5,984

Tabla 72. Comparación Factores de reducción OPTUM G-2 del talud sin recubrimiento de 30°.
Fuente: Elaboración propia.

Talud de 45°				
Material	**Espécimen**	**Corte**	**Strength Reduction Factor lower**	**Strength Reduction Factor upper**
DESNUDO	1	1	4,453	4,656
Talud de 45°				
Material	**Espécimen**	**Corte**	**Strength Reduction Factor lower**	**Strength Reduction Factor upper**
DESNUDO	1	1	3,797	3,927

Tabla 73. Comparación Factores de reducción OPTUM G-2 del talud sin recubrimiento de 45°.
Fuente: Elaboración propia.

11.2. Recomendaciones

- El alcance del presente estudio se limita al análisis del tipo de suelo arena-limosa, por lo que se recomienda conformar muestras reales en torno a problemas o necesidades de investigación, si se toma como guía al presente trabajo.
- Se debe verificar que el simulador de precipitación que sea adaptado o construido, tenga la capacidad de controlar los parámetros dentro las condiciones necesitadas.
- Para el caso de estabilidad de taludes se recomienda el uso de materiales de refuerzo estructurales, su debido cálculo y análisis, con el fin de mitigar amenazas de deslizamientos y posibles pérdidas humanas y económicas.

- Se recomienda que para la recolección de muestras se usen los materiales en óptimas condiciones con el fin que exista un mayor control y precisión en cuanto a la toma de datos.
- Para acercarse a un modelo más exacto a la realidad se recomienda construir los modelos a una mayor escala donde se pueda evidenciar y recolectar los datos de una manera más exacta.
- Debido a la manipulación constante del humano en ensayos y muestras se debe considerar un porcentaje de error en los resultados expuestos debido al posible acarreo de errores ínfimos.
- Se debe tener precaución al momento de tallar las muestras de suelo y evitar sobrecargar al talud una vez ya sea conformado, debido a que puede sufrir alguna alteración en las muestras de ensayo.

12. CAPÍTULO XII: BIBLIOGRAFÍA

Centro ecuatoriano de investigación geográfica. (1986). *La erosión en el Ecuador.* Quito, Ecuador: Centro Ecuatoriano de investigación Geográfica.

Geosintéticos ARPIMIX México. (2021). *Geosintéticos ARPIMIX México*. Recuperado el 2021, de Geomembranas de PVC flexible, agua, azoteas y túneles: https://arpimix.com/productos/geomembranas-de-pvc-flexible/

Guzmán, G., Laguna, A., Giráldez, J., Strohmeier, S., & Gómez, J. (2015). Uso de trazadores magnéticos para caracterizar la erosión del suelo. *IV Jornadas de Ingeniería del Agua La precipitación y los procesos erosivos* (págs. 1-10). Córdoba: Instituto de Agricultura Sostenible-CSIC. Córdoba (España), Universidad de Córdoba. Córdoba (España), International Center for Agricultural Research in the Dry Areas. Amán (Jordania).

Alcantara Ayala, I. (2000). Landslides: ¿Deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaaciones y terminología. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, número 41*, 7-25.

Ambientum. (2021). *Ambientum*. Recuperado el 2021, de La molécula del agua: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/La_molecula_del_agua.asp

Andrade Limas, E., Espinoza Ramírez , M., Rivera Ortiz, P., & Romero Díaz, A. (2011). DEGRADACIÓN DE SUELOS POR ACTIVIDADES ANTRÓPICAS EN EL NORTE DE TAMAULIPAS, MÉXICO. *Papeles de Geografía*, 53-54.

ASTM C128 - 15. (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate.* West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM C29/C29M - 17a . (2017). *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate.* West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM D1557-12e1. (2012). *tandard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft3 (2,700 kN-m/m3)).* West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM D2216-19. (2019). *Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.* West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM D2487 - 00. (2000). *Standard Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. Obtenido de ASTM International, West Conshohocken, PA: www.astm.org

ASTM D2487-17e1. (2017). *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).* West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM D2487-17e1. (2017). *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).* West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM D2488 - 17. (2017). *Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedures).* West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM D3080 / D3080M-11. (2011). *Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions (Withdrawn 2020).* West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM D4354 - 12. (2020). *Standard Practice for Sampling of Geosynthetics and Rolled Erosion Control Products (RECPs) for Testing.* West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM D6475-17. (2017). *Standard Test Method for Measuring Mass per Unit Area of Erosion Control Blankets.* West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM D6818 - 21. (2021). *Standard Test Method for Ultimate Tensile Properties of Turf Reinforcement Mats.* West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM D6818-21. (2021). *Standard Test Method for Tensile Properties of Rolled Erosion Control Products.* West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM D7101-13e1. (2013). *tandard Index Test Method for Determination of Unvegetated Rolled Erosion Control Product (RECP) Ability to Protect Soil from Rain Splash and Associated Runoff Under Bench-Scale Conditions.* West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM D854-14. (2014). *Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

AulaFacil. (2021). *AulaFacil*. Recuperado el mayo de 2021, de Desarrollo de la Investigación : https://www.aulafacil.com/cursos/investigacion/gratis/desarrollo-de-la-investigacion-l11285

Bardet, J. (1997). *Experimental Soil Mechanics.* New Jersey, USA: Pretince-Hall.

Bishop, A. W. (1955). The Use of Slip Circle in theStability A nalysis of Slopes. *Geotechnique, Vol. 5*, 7.

Brabb, E., & Harrod, B. (July 1989). Landslides: extent and economic significance. *Proceedings of the 28th International Geological Congress: Symposium on Landslides.* (págs. 169-178). Washington DC: E.E. Brabb, B.L. Harrod.

Braja M Das. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.* México: Cuarta edición, CENGAGE Learning.

Braja M, D. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.* México: Cengage Learning Editores, S.A.

Braja M, D. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.* México: 2015.

Centros de Excelencia Técnica, Unidad, Normalización y Laboratorios. (01 de Diciembre de 2018). *EPM.* Recuperado el 2021, de Norma de construcción Protección de Taludes: https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/Aguas/NC_MN_OC08_06_Proteccion_de_taludes.pdf?ver=2018-03-08-132141-303

Cepeda Medina, J. Á., Leal Leal , L., & García Cerezo, P. (diciembre 2009). *Conservación y explotación.* ESPAÑA: Tornapunta S.L.U.

Cóndor Andrade, L., & Oñate Barreno , K. (2019). *Influencia de la disposición de Geomallas en la Resistencia del Suelo Granular sujeto a la Aplicación de una Carga Axial* . Quito : Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA). (Agosto de 1999). *USDA*. Recuperado el 03 de 05 de 2020, de Guía para la: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051913.pdf

Diario El Comercio. (8 de January de 2011). *Laderas, zona de riesgo habitable.* Recuperado el 05 de mayo de 2020, de El Comercio: https://www.elcomercio.com/tendencias/construir/laderas-zona-de-riesgo-habitable.html

Donayre Córdova, O. (18 de Mayo de 2015). *Slideshare*. Recuperado el 2020, de Estabilidad de Taludes: https://es.slideshare.net/DanielVegaRomero/estabilidad-de-taludes-48259841

El Universo. (5 de Enero de 2017). *El Universo.* Recuperado el 06 de junio de 2020, de El Universo: https://www.eluniverso.com/noticias/2017/01/05/nota/5981245/deslizamiento-tierra-inundaciones-casa-caida-lluvias-quito

Escobar P, C. E., & Duque Escobar, G. (2017). *Universidad Nacional de Colombia.* Recuperado el 2020, de Geotecnia para el Andino: https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57334/erosionymovimientosenmasa.pdf?sequence=9&isAllowed=y

Escobar P, C. E., & Duque-Escobar, G. (2017). *Universidad NacionalL De Colombia.* Recuperado el 2020, de Geotecnia para el Trópico Andino: file:///C:/Users/Hp%20Dv4/Downloads/geotecniaparaeltropicoandino.pdf

Espinosa Ramírez, M., Andrade Limas, E., Rivera Ortiz, P., & Romero Díaz, A. (2011). Degradación de Suelos por Actividades Antrópicas en el Norte de Tamaulipas, México. *Papeles de Geografía*, 53-54, pp 77-88.

Extra.Ec. (25 de Octubre de 2017). *Extra.Ec.* Recuperado el 07 de Mayo de 2020, de Extra.Ec: https://www.extra.ec/noticia/actualidad/derrumbe-lluvias-vias-transito-quito-1793957.html

Fernando, R. A. (2009). Calibración de hidrómetros con el uso de un sistema semi-automatizado de ajuste de adquisición de datos. *Revista Ingeniería*, 37.

Foros Ecuador. (08 de noviembre de 2018). *forosecuador.ec*. Recuperado el 02 de junio de 2021, de Clima de Quito Ecuador - Características, tipo de clima y temperaturas promedio: http://www.forosecuador.ec/forum/ecuador/educaci%C3%B3n-y-ciencia/169001-clima-de-quito-ecuador-caracter%C3%ADsticas-tipo-de-clima-y-temperaturas-promedio

Gamarra Cotohuanca, N. (2014). *Slideshare*. Recuperado el 2020, de Estabilización de suelos con Geotextiles: https://es.slideshare.net/Nicgam/geotextiles-final

Geoconcret. (2021). *Geomembranas Ecuador*. Recuperado el 2021, de Geomembranas Ecuador: https://geoconcretsa.com/geomembranas/?gclid=CjwKCAjwtfqKBhBoEiwAZuesiF-5WzkRVboUezItjneM8bHbjh9YOiFCOzpCRfI2BtAclybTauGC6hoCCUoQAvD_BwE

GEOMATRIX . (13 de Mayo de 2014). *Scribd.* Recuperado el 2020, de Guía de uso e Instalación de Mantos Permanentes para Control de Erosión y Refuerzo de Vegetación TERRATRAC TRM: https://es.scribd.com/document/223690986/3-3-Guia-de-uso-e-instalacion-Terratrac-TRM-pdf

GEOMATRIX. (2019). *GEOMATRIX*. Recuperado el 2020, de Geotextiles No Tejidos: https://www.geomatrix.co/sites/default/files/FT%20FIBERTEX%20DATOS%20TIPICOS%20GENERAL.pdf

GEOMATRIX. (abril de 2019). *GEOMATRIX*. Recuperado el 2020, de Geomallas Uniaxiales: https://www.geomatrix.co/sites/default/files/FT%20FORTGRID%20GENERAL%20.pdf

GEOMATRIX. (mayo de 2019). *GEOMATRIX*. Recuperado el 2020, de Geomallas Biaxiales: https://www.geomatrix.co/sites/default/files/FT%20FORTGRID%20GENERAL.pdf

GEOMATRIX. (2020). *GEOMATRIX*. Recuperado el 2020, de Geotextiles Tejidos: https://www.geomatrix.co/sites/default/files/FT%20PA%CC%81G%20WEB%20_compressed.pdf

GEOMATRIX. (marzo de 2020). *GEOMATRIX*. Recuperado el 2020, de Mantos permanentes para el control de la erosión: https://www.geomatrix.co/sites/default/files/FT_Terratrac%20GENERAL%20-DATOS%20TIPICOS_0.pdf

GEOSINTETICOS ARPIMIX. (2021). *GEOSINTETICOS ARPIMIX MEXICO*. Recuperado el 2020, de GEOTEXTIL TEJIDO: https://arpimix.com/productos/geotextil-tejido/

GEOSINTETICOS ARPIMIX MEXICO. (2021). *GEOSINTETICOS ARPIMIX MEXICO*. Recuperado el 2020, de GEOTEXTIL NO TEJIDO DE POLIESTER | SOMOS FABRICANTES: https://arpimix.com/productos/geotextil-no-tejido-de-poliester/

Geosintéticos ARPIMIX México. (2021). *Geosintéticos ARPIMIX México*. Recuperado el 2021, de Geomanta tridimensional, control de la erosión: https://arpimix.com/productos/geomanta-tridimensional/

Geosintéticos ARPIMIX México. (2021). *Geosintéticos ARPIMIX México*. Recuperado el 2021, de Geomanta de fibra de coco, estabilización de taludes: https://arpimix.com/productos/geomanta-de-fibra-de-coco/

Geoxnet. (4 de Agosto de 2019). *Clasificación de suelos*. Recuperado el 2020, de Clasificación de suelos: https://post.geoxnet.com/clasificacion-de-suelos/

Gobierno de España - Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación . (2020). *Manual de Aspectos Constructivos de Caminos Naturales.* España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría General Técnica, Centro de publicaciones.

Gómez Bastar, S. (2012). *Metodología de la Investigación.* México: Red tercer milenio.

Gradiz, H. (7 de Agosto de 2013). *Carta de plasticidad*. Obtenido de Carta de plasticidad: https://es.slideshare.net/hugogradiz/carta-de-plasticidad

Gray, D., & Leiser, A. (1982). *Biotechnical slope protection and erosion control.* Nueva York: Van Nostrand Reinhold Company.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2003). *Metodología de la Investigación.* México D.F.: Mc Graw Hill.

Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua. (14 de diciembre de 2020). *Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua*. Recuperado el 27 de diciembre de 2020, de Sala de Prensa: https://www.tungurahua.gob.ec/index.php/informativo-hgpt/sala-de-

prensa/4516-el-monto-de-inversion-en-las-obras-bordean-los-811-815-69?switch_to_desktop_ui=1[L]

I.N.V. E – 154 – 07. (2007). *DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE MÉTODO DE CORTE DIRECTO (CD) (CONSOLIDADO DRENADO).* Colombia : INVIAS.

I.N.V.E - 901 - 07. (2007). *M ÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CARGA DE ROTURA Y LA ELONGACIÓN DE GEOTEXTILES (MÉTODO DE GRAB).* Colombia: INVIAS.

iagua. (2021). *iagua*. Recuperado el 2021, de ¿Qué es el agua?: https://www.iagua.es/respuestas/que-es-agua

Ing. Lozano Rivas, W. A. (2018). *Clima, Hidrología y Meteorología, para ciencias ambientales e ingeniería.* Bogotá, Colombia: Lápiz Blanco S.A.S.

Ing. Monge Jeremías , R., & Ing.Aguilar Pereira, J. (Agosto 2008). *Manual de Operación del Simulador de Lluvia para la cuantificación de la Infiltración, Escorrentía y Erosión de Suelos.* San José, Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica.

Ing. Realpe Rivadeneira , G. R. (2021).

Ing.Albuja , J., & Ing. Montero, J. (2017). *Guía Mecánica de Suelos 1*. Quito.

Ingeotec. (23 de Noviembre de 2018). *SUELOS, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS*. Recuperado el 4 de octubre de 2021, de PRESIÓN DE POROS: https://ingeotec.blogspot.com/2018/11/presion-de-poros.html

Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (1973). *Mecánica de Suelos.* México: Limusa.

Juárez, E. (2005). *Mecánica de suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos* . México: Limusa.

Juncosa, R. (2005). *Hidrología I: ciclo hidrológico.* España: Rep. del Noroeste.

Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (2004). *Mecánica de Suelos.* México: Limusa S.A.

Leoni, I. A. (2010). Recuperado el junio de 2020, de file:///C:/Users/Hp%20Dv4/Desktop/Investigaci%C3%B3n%20Erosi%C3%B3n%20y%20Escorrent%C3%ADa%20Taludes/1.%20Bibliograf%C3%ADa/LIBROS%20TESIS/Relaciones%20gravimetricas%20y%20volumetricas-2010.pdf

López Jimeno, C. (2002). *Manual de Estabilización y Revegetación de Taludes.* España: Carlos Lopez Jimeno.

Martín de la Cruz, I. (Abril de 2010). *Universidad Politécnica de Madrid.* Recuperado el Mayo de 2020, de Caracterización de lluvia simulada y su aplicación en parcelas experimentales de erosión en taludes de infraestructuras lineales: http://oa.upm.es/3081/1/PFC_IVAN_MARTIN_DE_LA_CRUZ.pdf

Mestanza Sanchez, J. (2021). *SlidePlayer*. Recuperado el 10 de enero de 2021, de SlidePlayer: https://slideplayer.es/slide/10288761/

Ministerio de Fomento. (2006). *Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carretera.* España: Direccion Genrel de Carreteras.

Morales Muñoz, B. (2012). *Metodología de estabilización de taludes de carreteras.* Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

NEVI-12-MTOP. (2013). *Norma para estudios y diseño vial.* Quito: Misterio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador.

Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC. (2014). *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda*. Recuperado el 2020, de NEC-SE-CM, Geotécnia y Cimentaciones: https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-CM.pdf

Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 - MTOP. (2013). *VOLUMEN II MANUAL DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE.* QUITO: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS.

Olguin Coca, D. J. (Agosto de 2011). *Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo.* Recuperado el 03 de 03 de 2020, de Instituto de Ciencias Basicas e Ingenieria: https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Lectura/icbi/asignatura/MecaSuelosI.pdf

Palacio León, Ó., Chávez Porras, Á., & Velásquez Castiblanco, Y. L. (2017). Evaluación y comparación del análisis granulométrico obtenido de agregados naturales y reciclados. *Tecnura*, 103.

Pino Sanhueza, S. C. (2008). *Universidad de Chile.* Recuperado el 2020, de Estimación de pérdidas de suelo en tres situaciones de manejo de residuos post-cosecha, usando el modelo rusle, en el Predio Pantanillos, VII Región.: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/105007/pino_s.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Pizarro, R., Morales , C., Vega, L., Olvares , C., Valdés, R., & Balocchi, F. (2009). *Propuesta de un modelo de estimación de erosión hídrica para la región de Coquimbo, Chile.* Talca, Chile: UNESCO.

República del Ecuador Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones MOP-001-F. (2002). *República del Ecuador Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones MOP-001-F*. Quito: República del Ecuador Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones.

Rico Rodríguez, A., & Juárez Badillo , E. (1976). *Mecánica de suelos. Tomo II: Teoría y aplicaciones de la Mecánica de Suelos.* Mexico: Limusa.

Rojas , R. (2013). *Guía para realizar Investigaciones Sociales* . México: Plaza y Valdés Editores.

Rojas Gavilan, J. (2010/2011). *Ensayo de Corte Directo ¨Informe sobre el Ensayo de Corte Directo¨.* Santo Domingo: Universidad Autónoma de Santo Domingo.

Romero Díaz, A., Ruiz Sinoga, J. D., & Belmonte Serrato, F. (2011). Tasas De Erosión Hídrica en la Región de Murcia. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 129-153.

Rubin, Levin, Balderas, Del Valle, & Gómez. (2004). *Estadística para Administración y Economía.* México: Pearson Educación .

Sabino, C. (1992). *El proceso de Investigación.* Caracas: Panapo.

Sáez, E. (20 de Enero de 2010). *Fundamentos de Geotecnia ICE-1603.* Recuperado el 3 de junio de 2020, de Academia: https://www.academia.edu/31477045/Fundamentos_de_Geotecnia_Esteban_S%C3%A1ez

Sanhueza Plaza, C., & Rodríguez Cifuentes, L. (2013). Análisis comparativo de métodos de cálculode estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. *Revista de la Construcción, Volumen 12*, 17-29.

Secretaria de Gestión de Riesgos. (01 de Abril de 2018). *Plan Nacional de Rspuesta ante Desastres.* Recuperado el 05 de Mayo de 2020, de Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias: https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/08/Plan-Nacional-de-Respuesta-SGR-RespondeEC.pdf

Skempton, A., & Hutchinson, J. (1969). Stability of natural slopes and embankmentfoundations. *7th International Conference on Soil Mechanics andFound. Eng.* Mexico: State-of-the-Art Report. .

Sobarzo, V., Villalobos, F., & King, R. (2011). Estudio de la estabilidad de taludes en roca meteorizada de la formación Quiriquina. *Obras y Proyectos*, 38-48.

Soluciones Ambientales. (2017). *Soluciones Ambientales*. Recuperado el 2020, de Geosintéticos: https://www.geosai.com/geosinteticos/

Soluciones Ambientales. (2017). *Soluciones Ambientales*. Recuperado el 2020, de Geotextiles: https://www.geosai.com/productos/geotextiles/

Suárez Días, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas tropicales.* Bucaramanga - Colombia: Ingeniería de Suelos Ltda.

Suárez Días, J. (2001). *Control de Erosión en Zonas Tropicales.* Bucaramanga - Colombia: Universidad Industrial de Santander.

Suarez Días, J. (2011). *Deslizamientos. Análisis Geotécnico.*

Suárez Riestra, F. L. (2008). *Estudio geotécnico y mecánica de suelos: acercamiento al concepto de terreno como elemento estructural en el mundo de la edificación.* Coruña, España: Suárez y García A2.

Tamayo & Tamayo, M. (2003). *El proceso de la Investigación científica.* México, DF: Limusa S.A.

Tamayo Ly , C., & Silva Siesquén, I. (2021). *Docplayer.* Recuperado el junio de 2021, de Universidad Católica de Los Ángeles de Chimbote, Departamento Académico de Metodología de la Investigación , Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos: https://docplayer.es/19226657-Tecnicas-e-instrumentos-de-recoleccion-de-datos.html

Terzaghi, K. P., & Ralph , B. (1955). *Mecánica de suelos en la ingenieria práctica.* Buenos Aires: El Ateneo.

Universidad de Córdoba. Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC. Paisajes del Sur SL/ Bonterra Ibérica, SL. (2014). *Manual de técnicas de Estabilización Biotécnica en Taludes de Infraestructuras de Obra Civil.* Córdoba: Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía. Consejería Fomento y Vivienda. Junta de Andalucía.

Universidad Internacional de Riego. (3 de Mayo de 2019). *Universidad Internacional de Riego*. Recuperado el 07 de 04 de 2020, de La textura en los suelos agrícolas: https://www.universidadderiego.com/la-textura-en-los-suelos-agricolas/

USGS . (2008). *Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes.* Reston, Virginia: Servicio Geológico de los EE.UU.

Varela, L. A., & Ron, S. R. (2018). *Pontificia Universidad Católica del Ecuador*. Recuperado el 05 de Mayo de 2020, de Geografía y clima del Ecuador. BIOWEB: https://bioweb.bio/geografiaClima.html

Varnes, D. J. (1978). "Slope movements, types and processes¨, Landslides: Analysis and control, transportation research board, Spec, Rep 176. *National Academy of Science, Washington*, 11-33.

Ward, R. C., & Robinson, M. (1990). *Principles of Hydrology*. London: Mcgraw Hill.

WPNVL. (1990). "A suggested method for reporting a landslide¨. *Bulletin of the lntemational Association of Engineering Geology*, 5-12.

Xie, M., Esaki, T., & Cai, M. (2004). A time-space based approach for mapping rainfall-induced shallow landslide hazard. *Environmental Geology*, 840–850.

13. CAPÍTULO XIII: ANEXOS

13.1. Productos comercializados por IGM - Industrias Geoambientales Montecristi S.A. PIVALTEC



Descripción	Es una manta de control de erosión compuesta de fibras naturales y vegetales, también tiene un gran valor ecológico-ambiental.
	La riqueza en ligninas de las fibras lo hace ideal como material de refuerzo.
	Su naturaleza biodegradable lo convierte en un material inocuo a lo largo de su ciclo de vida.
Materiales	Yute, cabuya, coco, sisal y variedades de musáceas.
Propiedades Mecánicas	Resistencia a la tensión (ASTM D6818) 3.50kN/m-4.12kN/m
Duración	18 a 36 meses

Anexo 1. Geomanto para el control de erosión GMAT VT400 (PIVALTEC)



Descripción	Es un geomanto compuesto de fibras naturales y una geomalla biaxial estructural, además de tener una gran resistencia a los rayos UV y durabilidad frente a la exposición en ambientes agresivos.
Materiales	Polipropileno, poliester, yute, cabuya y coco
Propiedades Mecánicas	Resistencia a la tensión (ASTM D6818) 20kN/m
Duración	18 a 36 meses

Anexo 2. Geomanto para el control de erosión GMAT RV400 (PIVALTEC)



Descripción	Es un sistema biodegradable para estabilización de taludes, cuenta con una excelente estabilidad estructural y un gran rendimiento mecánico.
	Sus beneficios son: estabilización, reforzamiento de taludes, crecimiento rápido y sano de la vegetación, menor sedimentación, mejor adaptación a las características del paisaje.
Materiales	Fibras naturales de coco y una malla de acero de alta resistencia: DELTAX de GEOBRUGG
Propiedades Mecánicas	Resistencia a la tracción (conforme a EN 10264-2/ EN 10016-1 y 2) 1,770N/mm2
Duración	18 a 36 meses Malla de acero hasta 75 años

Anexo 3. Geomanto para la estabilización de taludes y control de erosión VG80-2 (PIVALTEC)



Descripción	Es un geomanto compuesto de fibras sintéticas
	Estas fibras tienen una gran resistencia a los rayos UV y durabilidad frente a la exposición en ambientes agresivos
Materiales	Polipropileno, poliester y polietileno
Propiedades Mecánicas	Resistencia a la tensión (ASTM D6818) 7.0kN/m
Duración	36 a 60 meses

Anexo 4. Geomanto para control de erosión GMAT DS310 (PIVALTEC)



Descripción	Es un geomanto para el control dela erosión
	Estas fibras tienen una gran resistencia a los rayos UV y durabilidad frente a la exposición en ambientes agresivos
Materiales	Polipropileno, poliester y polietileno
Propiedades Mecánicas	Resistencia a la tensión (ASTM D681) 20kN/m
Duración	36 a 60 meses

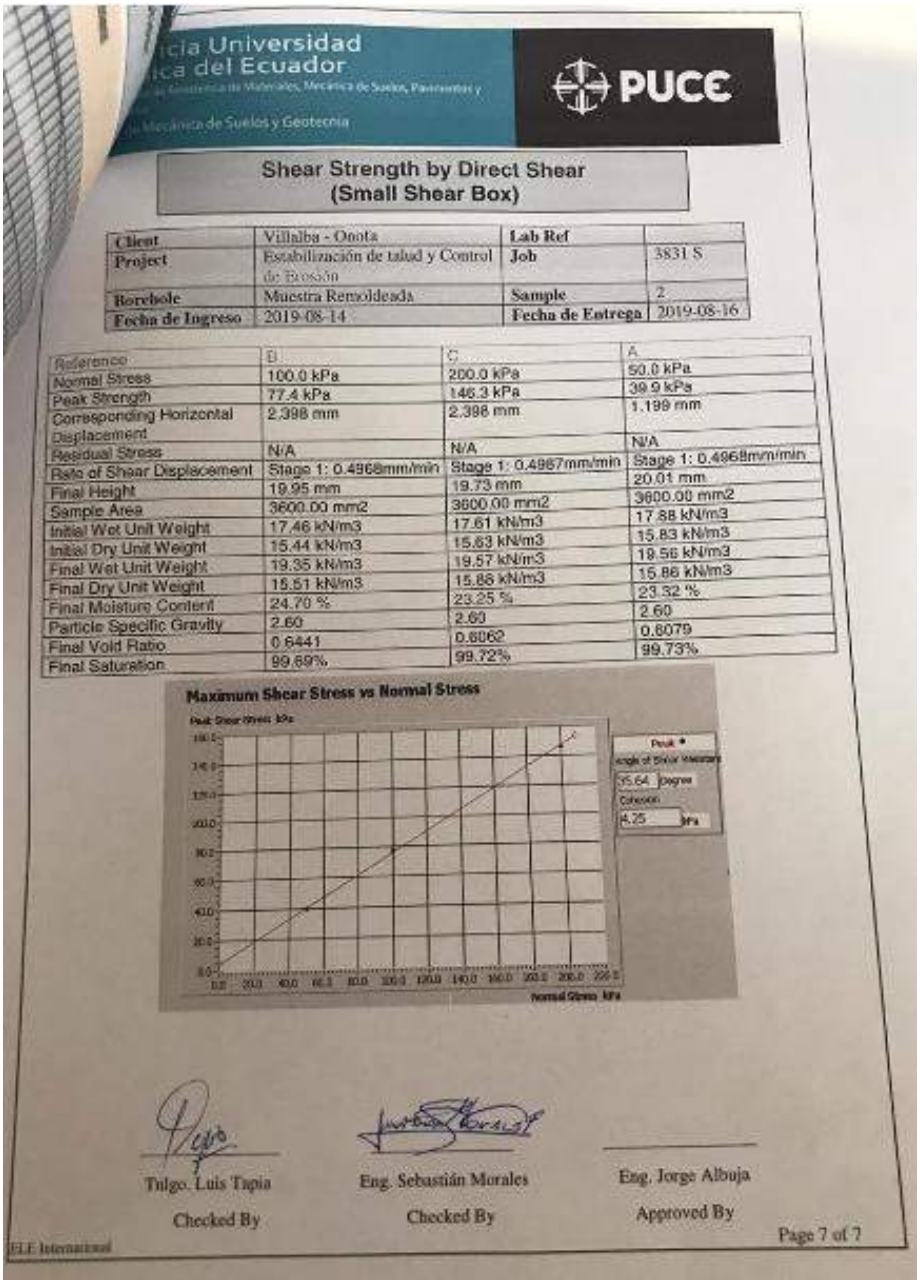
Anexo 5. Geomanto para control de erosión GMAT R560 (PIVALTEC)



Descripción	Es un sistema permanente para estabilización de taludes, cuenta con una excelente estabilidad estructural y un gran rendimiento mecánico.
	Sus beneficios son: estabilización, reforzamiento de taludes, y excelente protección contra la erosión aeólica e hídrica.
Materiales	Polipropileno y una malla de acero de alta resistencia: DELTAX de GEOBRUGG
Propiedades Mecánicas	Resistencia a la tracción (conforme a EN 10264-2/ EN 10016-1 y 2) 1,770N/mm2
Duración	36 a 60 meses Malla de acero hasta 75 años

Anexo 6. Geomanto para la estabilización de taludes y control de erosión G80-2 (PIVALTEC)

13.2. Resultados Corte Directo (CD) Laboratorio de Suelos PUCE



Shear Strength by Direct Shear
(Small Shear Box)

Client	Villalba - Onofa	Lab Ref	
Project	Estabilización de talud y Control de Erosión	Job	3831 S
Borehole	Muestra Remoldeada	Sample	2
Fecha de Ingreso	2019-08-14	Fecha de Entrega	2019-08-16

Reference	B	C	A
Normal Stress	100.0 kPa	200.0 kPa	50.0 kPa
Peak Strength	77.4 kPa	146.3 kPa	39.9 kPa
Corresponding Horizontal Displacement	2.398 mm	2.398 mm	1.199 mm
Residual Stress	N/A	N/A	N/A
Rate of Shear Displacement	Stage 1: 0.4968mm/min	Stage 1: 0.4967mm/min	Stage 1: 0.4968mm/min
Final Height	19.95 mm	19.73 mm	20.01 mm
Sample Area	3600.00 mm2	3600.00 mm2	3600.00 mm2
Initial Wet Unit Weight	17.46 kN/m3	17.61 kN/m3	17.88 kN/m3
Initial Dry Unit Weight	15.44 kN/m3	15.63 kN/m3	15.83 kN/m3
Final Wet Unit Weight	19.35 kN/m3	19.57 kN/m3	19.56 kN/m3
Final Dry Unit Weight	15.51 kN/m3	15.86 kN/m3	15.86 kN/m3
Final Moisture Content	24.70 %	23.25 %	23.32 %
Particle Specific Gravity	2.60	2.60	2.60
Final Void Ratio	0.6441	0.6062	0.6079
Final Saturation	99.69%	99.72%	99.73%

Maximum Shear Stress vs Normal Stress

Peak
35.64 degree
Cohesion
4.25 kPa

Tnlgo. Luis Tapia
Checked By

Eng. Sebastián Morales
Checked By

Eng. Jorge Albuja
Approved By

Page 7 of 7

Anexo 7. Corte Directo de Arena Limosa
Fuente: (Laboratorio de Suelos PUCE)

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Laboratorio de Ensayos de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotecnia

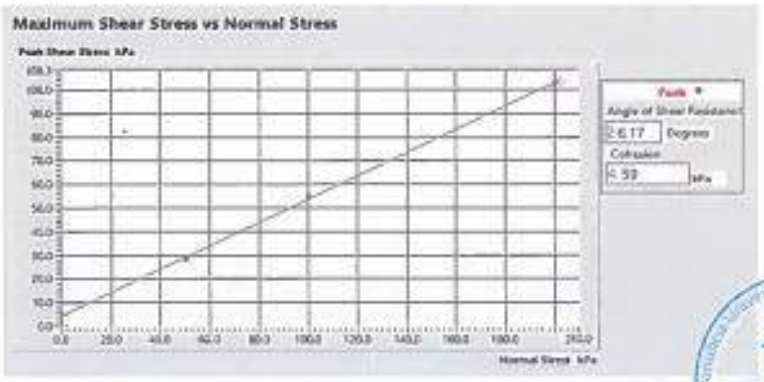
Área de Mecánica de Suelos y Geotecnia

PUCE

Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)

Client	Villalva - Onofa	**Lab Ref**	
Project	Estabilización de talud y Control de Erosión	**Job**	3831 S
Borehole	Muestra Remoldeada	**Sample**	1
Fecha de Ingreso	10-07-2021	**Fecha de Entrega**	15-07-2021

Reference	C	A	B
Normal Stress	100.0 kPa	200.0 kPa	50.0 kPa
Peak Strength	55.0 kPa	102.7 kPa	28.4 kPa
Corresponding Horizontal Displacement	3.597 mm	4.796 mm	3.597 mm
Residual Stress	N/A	N/A	N/A
Rate of Shear Displacement	Stage 1: 0.5012mm/min	Stage 1: 0.5180mm/min	Stage 1: 0.5241mm/min
Final Height	19.44 mm	19.29 mm	19.39 mm
Sample Area	3595.80 mm2	3595.80 mm2	3595.80 mm2
Initial Wet Unit Weight	12.39 kN/m3	12.39 kN/m3	12.25 kN/m3
Initial Dry Unit Weight	12.06 kN/m3	12.16 kN/m3	11.95 kN/m3
Final Wet Unit Weight	17.45 kN/m3	17.57 kN/m3	17.40 kN/m3
Final Dry Unit Weight	12.43 kN/m3	12.64 kN/m3	12.36 kN/m3
Final Moisture Content	40.33 %	39.06 %	40.81 %
Particle Specific Gravity	2.60	2.60	2.60
Final Void Ratio	1.0515	1.0187	1.0635
Final Saturation	99.72%	99.68%	99.76%



Tech. José Morán
Checked By

Eng. Sebastián Morales
Checked By

Eng. Jorge Albuja
Approved By

Anexo 8. Corte Directo Talud 15°
Fuente: (Laboratorio de Suelos PUCE)

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Área de Mecánica de Suelos y Geotecnia

PUCE

Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)

Client	Villalba - Onofa	**Lab Ref**	
Project	Estabilizacion de talud y Control de Erosion	**Job**	3831 S
Borehole	Muestra Remoldeada – 30°	**Sample**	3
Fecha de Ingreso	2019-08-14	**Fecha de Entrega**	2021-05-20

Test Summary

Reference	B	C	A
Normal Stress	100.0 kPa	200.0 kPa	50.0 kPa
Peak Strength	50.4 kPa	97.5 kPa	27.4 kPa
Corresponding Horizontal Displacement	3.597 mm	2.398 mm	2.398 mm
Residual Stress	N/A	N/A	N/A
Rate of Shear Displacement	Stage 1: 0.4989mm/min	Stage 1: 0.4915mm/min	Stage 1: 0.4844mm/min
Final Height	19.00 mm	18.72 mm	19.71 mm
Sample Area	3595.80 mm2	3595.80 mm2	3595.80 mm2
Initial Wet Unit Weight	15.06 kN/m3	15.05 kN/m3	15.04 kN/m3
Initial Dry Unit Weight	13.44 kN/m3	13.36 kN/m3	13.30 kN/m3
Final Wet Unit Weight	18.52 kN/m3	18.60 kN/m3	18.12 kN/m3
Final Dry Unit Weight	14.18 kN/m3	14.30 kN/m3	13.53 kN/m3
Final Moisture Content	30.64 %	30.05 %	33.95 %
Particle Specific Gravity	2.60	2.60	2.60
Final Void Ratio	0.7988	0.7835	0.8851
Final Saturation	99.73%	99.71%	99.74%



Tnlgo. José Morán Eng. Sebastián Morales Eng. Jorge Albuja

Anexo 9. Corte Directo Talud 30°
Fuente: (Laboratorio de Suelos PUCE)

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Área de Mecánica de Suelos y Geotecnia

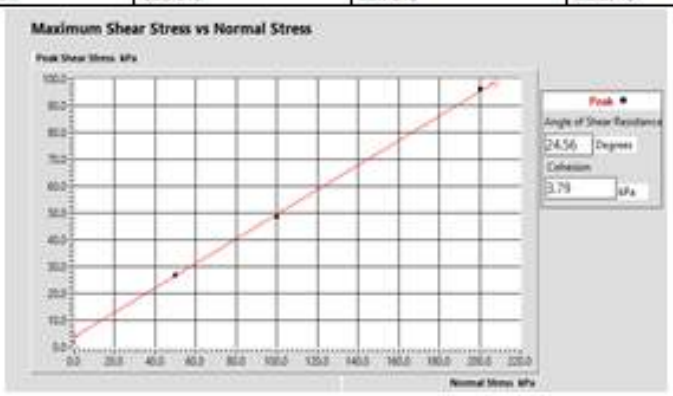
PUCE

Shear Strength by Direct Shear
(Small Shear Box)

Client	Villalba - Onofa	**Lab Ref**	
Project	Estabilizacion de talud y Control de Erosion	**Job**	3831 S
Borehole	Muestra Remoldeada – 45°	**Sample**	4
Fecha de Ingreso	2019-08-14	**Fecha de Entrega**	2021-05-20

Test Summary

Reference	B	C	A
Normal Stress	100.0 kPa	200.0 kPa	50.0 kPa
Peak Strength	48.7 kPa	96.1 kPa	26.8 kPa
Corresponding Horizontal Displacement	2.398 mm	3.597 mm	2.398 mm
Residual Stress	N/A	N/A	N/A
Rate of Shear Displacement	Stage 1: 0.4998mm/min	Stage 1: 0.4989mm/min	Stage 1: 0.4987mm/min
Final Height	18.89 mm	18.40 mm	18.80 mm
Sample Area	3595.80 mm2	3595.80 mm2	3595.80 mm2
Initial Wet Unit Weight	14.92 kN/m3	14.79 kN/m3	14.76 kN/m3
Initial Dry Unit Weight	12.95 kN/m3	13.02 kN/m3	13.18 kN/m3
Final Wet Unit Weight	18.28 kN/m3	18.53 kN/m3	18.45 kN/m3
Final Dry Unit Weight	13.75 kN/m3	14.19 kN/m3	14.06 kN/m3
Final Moisture Content	32.80 %	30.62 %	31.29 %
Particle Specific Gravity	2.60	2.60	2.60
Final Void Ratio	0.8555	0.7976	0.8145
Final Saturation	99.70%	99.79%	99.87%



Tnlgo. José Morán Eng. Sebastián Morales Eng. Jorge Albuja

Anexo 10. Corte Directo Talud 45°
Fuente: (Laboratorio de Suelos PUCE)

13.3. Registro diario de riego del simulador de lluvia

13.3.1. Talud 15°

DÍA 1 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 15°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):		235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:		19,66mm/día						FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		21/4/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	104,64	233,77	183,77	129,13	**79,13**	**1220,00**	1100,00	**2320,00**		
	DESNUDO 2	67,76	238,47	157,39	170,71	**89,63**	**1010,00**	980,00	**2440,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	67,19	198,95	159,86	131,76	**92,67**	**520,00**	470,00	**2950,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	57,93	173,46	139,07	115,53	**81,14**	**510,00**	450,00	**2970,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	65,96	171,69	139,28	105,73	**73,32**	**860,00**	780,00	**2640,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	58,98	259,54	144,50	200,56	**85,52**	**1250,00**	1150,00	**2270,00**		

Anexo 11. Registro de riego Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 2 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 15°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):		235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:		19,66mm/día						FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		18/3/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	73,11	208,25	168,25	135,14	**95,14**	**1090,00**	1000,00	**2420,00**		
	DESNUDO 2	100,39	246,69	196,49	146,30	**96,10**	**1150,00**	1050,00	**2370,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	65,80	183,24	128,94	117,44	**63,14**	**500,00**	470,00	**2950,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	72,51	153,63	129,70	81,12	**57,19**	**520,00**	490,00	**2930,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	61,13	214,60	151,63	153,47	**90,50**	**820,00**	760,00	**2660,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	66,97	174,61	141,08	107,64	**74,11**	**830,00**	790,00	**2630,00**		

Anexo 12. Registro de riego Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 3 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 15°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):		235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:			19,66mm/día					FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		22/4/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	101,64	263,20	212,50	161,56	**110,86**	**1130,00**	1070,00	**2350,00**		
	DESNUDO 2	100,39	249,60	198,90	149,21	**98,51**	**1110,00**	1030,00	**2390,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	68,04	202,18	161,55	134,14	**93,51**	**510,00**	490,00	**2930,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	78,90	261,14	172,71	182,24	**93,81**	**530,00**	480,00	**2940,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	84,15	129,98	170,86	45,83	**86,71**	**870,00**	810,00	**2610,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	85,45	238,92	180,70	153,47	**95,25**	**850,00**	790,00	**2630,00**		

Anexo 13. Registro de riego Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 4 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 15°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):		235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:		19,66mm/día						FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		23/4/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	80,66	272,63	227,61	191,97	**146,95**	**1290,00**	1210,00	**2210,00**		
	DESNUDO 2	57,91	275,27	224,97	217,36	**167,06**	**1200,00**	990,00	**2430,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	62,98	173,33	147,62	110,35	**84,64**	**610,00**	580,00	**2840,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	74,12	216,84	155,99	142,72	**81,87**	**620,00**	570,00	**2850,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	67,18	195,20	148,50	128,02	**81,32**	**910,00**	880,00	**2540,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	65,80	229,33	178,44	163,53	**112,64**	**930,00**	890,00	**2530,00**		

Anexo 14. Registro de riego Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 5 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 15°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):		235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:		19,66mm/día						FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		26/4/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	81,02	244,24	201,48	163,22	**120,46**	**1320,00**	1280,00	**2140,00**		
	DESNUDO 2	65,70	251,40	199,68	185,70	**133,98**	**1380,00**	1320,00	**2100,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	79,44	151,43	130,79	71,99	**51,35**	**630,00**	590,00	**2830,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	72,52	191,83	141,73	119,31	**69,21**	**610,00**	580,00	**2840,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	81,45	171,61	155,66	90,16	**74,21**	**950,00**	910,00	**2510,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	66,45	186,14	139,13	119,69	**72,68**	**940,00**	900,00	**2520,00**		

Anexo 15. Registro de riego Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 6 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 15°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):		235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:		19,66mm/día						FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		27/4/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	61,14	223,79	182,29	162,65	**121,15**	**1370,00**	1300,00	**2120,00**		
	DESNUDO 2	104,63	255,36	215,56	150,73	**110,93**	**1240,00**	1200,00	**2220,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	58,99	193,27	153,15	134,28	**94,16**	**710,00**	680,00	**2740,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	79,50	206,06	170,93	126,56	**91,43**	**700,00**	640,00	**2780,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	68,45	177,29	145,98	108,84	**77,53**	**960,00**	910,00	**2510,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	79,53	225,50	182,05	145,97	**102,52**	**970,00**	920,00	**2500,00**		

Anexo 16. Registro de riego Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 7 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 15°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):		235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:		19,66mm/día						FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		28/4/2021
TALUD		MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES
		DESNUDO 1	58,99	334,42	284,02	275,43	**225,03**	**1110,00**	1090,00	**2330,00**	
		DESNUDO 2	104,63	376,49	330,79	271,86	**226,16**	**1200,00**	1130,00	**2290,00**	
		RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	73,12	186,84	132,68	113,72	**59,56**	**810,00**	770,00	**2650,00**	
		RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	49,07	151,64	104,89	102,57	**55,82**	**750,00**	690,00	**2730,00**	
		RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	48,36	181,88	147,75	133,52	**99,39**	**1000,00**	960,00	**2460,00**	
		RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	57,93	209,07	165,45	151,14	**107,52**	**1010,00**	980,00	**2440,00**	

Anexo 17. Registro de riego Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 8 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 15°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):		235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:		19,66mm/día						FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		29/4/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	81,46	358,63	312,83	277,17	**231,37**	**1250,00**	1180,00	**2240,00**		
	DESNUDO 2	79,53	269,66	238,31	190,13	**158,78**	**1340,00**	1270,00	**2150,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	72,52	183,67	151,27	111,15	**78,75**	**870,00**	810,00	**2610,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	47,50	168,61	135,01	121,11	**87,51**	**920,00**	860,00	**2560,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	79,90	239,07	195,30	159,17	**115,40**	**1030,00**	990,00	**2430,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	80,65	279,91	231,89	199,26	**151,24**	**1040,00**	1000,00	**2420,00**		

Anexo 18. Registro de riego Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 9 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 15°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):		235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:			19,66mm/día					FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		30/4/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	81,04	357,95	334,29	276,91	**253,25**	**1320,00**	1260,00	**2160,00**		
	DESNUDO 2	85,39	290,93	255,52	205,54	**170,13**	**1280,00**	1210,00	**2210,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	84,12	224,69	175,46	140,57	**91,34**	**920,00**	870,00	**2550,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	79,48	201,17	166,94	121,69	**87,46**	**930,00**	870,00	**2550,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	14,11	187,46	147,45	173,35	**133,34**	**1090,00**	970,00	**2450,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	79,45	255,24	204,81	175,79	**125,36**	**1080,00**	960,00	**2460,00**		

Anexo 19. Registro de riego Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 10 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 15°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):		235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:		19,66mm/día						FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		3/5/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	85,42	241,38	204,99	155,96	**119,57**	**1130,00**	1110,00	**2310,00**		
	DESNUDO 2	79,55	316,15	272,95	236,60	**193,40**	**1100,00**	1010,00	**2410,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	65,95	175,03	144,52	109,08	**78,57**	**940,00**	910,00	**2510,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	74,14	200,30	141,73	126,16	**67,59**	**950,00**	900,00	**2520,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	67,08	201,94	180,75	134,86	**113,67**	**1110,00**	1070,00	**2350,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	79,55	243,48	201,72	163,93	**122,17**	**1110,00**	1060,00	**2360,00**		

Anexo 20. Registro de riego Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 11 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 15°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):		235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:			19,66mm/día					FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		4/5/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	57,92	331,65	292,50	273,73	**234,58**	**1270,00**	1210,00	**2210,00**		
	DESNUDO 2	59,00	358,53	334,76	299,53	**275,76**	**1280,00**	1220,00	**2200,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	73,12	238,54	180,28	165,42	**107,16**	**960,00**	910,00	**2510,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	84,13	235,46	195,89	151,33	**111,76**	**980,00**	930,00	**2490,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	78,92	219,70	174,45	140,78	**95,53**	**1120,00**	1090,00	**2330,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	81,44	179,30	153,75	97,86	**72,31**	**1130,00**	1080,00	**2340,00**		

Anexo 21. Registro de riego Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)

13.3.2. Talud 30°

DÍA 1 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°										
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):	235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:	19,66mm/día							FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml			h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		18/3/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES
	DESNUDO 1	61,71	844,82	657,07	783,11	**189,32**	**1059,00**	960,00	**2460,00**	
	DESNUDO 2	61,17	904,62	711,92	843,45	**207,06**	**1320,00**	1080,00	**2340,00**	
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	61,14	138,92	118,86	77,78	**18,37**	**750,00**	930,00	**2490,00**	
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	57,28	200,87	161,81	143,59	**33,26**	**890,00**	670,00	**2750,00**	
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	75,13	472,25	380,15	397,12	**97,05**	**940,00**	860,00	**2560,00**	
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	105,28	601,05	484,93	495,77	**120,80**	**980,00**	750,00	**2670,00**	

Anexo 22. Registro de riego Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 2 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):		235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:			19,66mm/día					FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		19/3/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	62,08	644,81	506,26	582,73	**141,33**	**1240,00**	1160,00	**2260,00**		
	DESNUDO 2	62,12	1110,47	865,00	1048,35	**255,46**	**1160,00**	1300,00	**2120,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	105,46	480,23	389,75	374,77	**92,05**	**860,00**	780,00	**2640,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	214,89	667,63	570,41	452,74	**113,12**	**750,00**	600,00	**2820,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	203,46	1295,32	1055,53	1091,86	**271,10**	**1210,00**	1010,00	**2410,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	57,71	437,36	354,58	379,65	**94,46**	**870,00**	780,00	**2640,00**		

Anexo 23. Registro de riego Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 3 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°										
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):	235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:	19,66mm/día							FECHA DE ENSAYO:
Precipitación: 3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		22/3/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES
	DESNUDO 1	207,20	590,85	487,54	383,65	**89,20**	**3420,00**	930,00	**2490,00**	
	DESNUDO 2	214,87	671,91	554,51	457,04	**108,07**	**1420,00**	1520,00	**1900,00**	
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	61,38	285,59	234,52	224,21	**55,09**	**910,00**	750,00	**2670,00**	
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	203,44	450,53	393,05	247,09	**60,33**	**790,00**	800,00	**2620,00**	
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	207,24	712,53	590,69	505,29	**122,01**	**1340,00**	930,00	**2490,00**	
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	223,93	656,54	561,88	432,61	**107,53**	**940,00**	660,00	**2760,00**	

Anexo 24. Registro de riego Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 4 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):		235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:		19,66mm/día						FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		23/3/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	204,21	1043,55	824,51	839,34	**197,37**	**3280,00**	1410,00	**2010,00**		
	DESNUDO 2	226,15	1048,67	839,29	822,52	**195,09**	**1410,00**	1170,00	**2250,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	203,92	374,35	327,38	170,43	**39,28**	**950,00**	970,00	**2450,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	208,09	807,92	672,11	599,83	**147,64**	**840,00**	950,00	**2470,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	223,99	750,71	612,49	526,72	**123,61**	**1180,00**	670,00	**2750,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	66,97	129,27	113,42	62,30	**46,45**	**780,00**	730,00	**2690,00**		

Anexo 25. Registro de riego Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 5 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):		235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:			19,66mm/día					FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		24/3/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	65,80	246,07	192,80	180,27	**127,00**	**1240,00**	1100,00	**2320,00**		
	DESNUDO 2	32,02	258,26	203,42	226,24	**171,40**	**1310,00**	1100,00	**2320,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	65,96	146,52	124,58	80,56	**58,62**	**450,00**	400,00	**3020,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	65,84	129,48	112,92	63,64	**47,08**	**750,00**	710,00	**2710,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	65,79	232,71	185,99	166,92	**120,20**	**840,00**	760,00	**2660,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	67,77	137,94	116,03	70,17	**48,26**	**760,00**	700,00	**2720,00**		

Anexo 26. Registro de riego Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 6 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°										
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):	235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:	19,66mm/día							FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml			h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		25/3/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES
	DESNUDO 1	33,18	176,94	138,74	143,76	**105,56**	**1150,00**	950,00	**2470,00**	
	DESNUDO 2	68,04	349,03	273,23	280,99	**205,19**	**1110,00**	900,00	**2520,00**	
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	104,61	425,00	341,39	320,39	**236,78**	**580,00**	570,00	**2850,00**	
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	75,07	279,94	229,19	204,87	**154,12**	**700,00**	580,00	**2840,00**	
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	100,37	385,11	306,40	284,74	**206,03**	**1000,00**	870,00	**2550,00**	
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	75,01	265,31	214,08	190,30	**139,07**	**750,00**	600,00	**2820,00**	

Anexo 27. Registro de riego Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 7 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):	235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:	19,66mm/día								FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml			h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2			26/3/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	31,02	276,76	213,11	245,74	**182,09**	**1150,00**	950,00	**2470,00**		
	DESNUDO 2	72,50	216,23	175,39	143,73	**102,89**	**1200,00**	1040,00	**2380,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	33,18	124,13	98,39	90,95	**65,21**	**630,00**	580,00	**2840,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	33,02	169,55	132,17	136,53	**99,15**	**700,00**	630,00	**2790,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	34,77	139,77	109,59	105,00	**74,82**	**640,00**	550,00	**2870,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	31,67	153,00	116,92	121,33	**85,25**	**960,00**	850,00	**2570,00**		

Anexo 28. Registro de riego Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 8 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):	235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:	19,66mm/día								FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		29/3/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	61,16	476,36	375,40	415,20	**314,24**	**1550,00**	1300,00	**2120,00**		
	DESNUDO 2	75,07	305,52	244,52	230,45	**169,45**	**1750,00**	1600,00	**1820,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	33,02	121,90	97,21	88,88	**64,19**	**780,00**	730,00	**2690,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	33,31	188,16	148,01	154,85	**114,70**	**640,00**	600,00	**2820,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	33,19	176,09	134,20	142,90	**101,01**	**950,00**	750,00	**2670,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	31,64	136,04	106,91	104,40	**75,27**	**940,00**	900,00	**2520,00**		

Anexo 29. Registro de riego Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 9 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):		235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:			19,66mm/día					FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		30/3/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	100,40	353,77	288,30	253,37	**187,90**	**1600,00**	1400,00	**2020,00**		
	DESNUDO 2	75,06	218,42	177,88	143,36	**102,82**	**1210,00**	1100,00	**2320,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	32,10	118,55	102,41	86,45	**70,31**	**850,00**	780,00	**2640,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	33,04	125,17	98,67	92,13	**65,63**	**800,00**	720,00	**2700,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	70,50	306,00	242,58	235,50	**172,08**	**1170,00**	1000,00	**2420,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	80,67	244,82	211,63	164,15	**130,96**	**970,00**	840,00	**2580,00**		

Anexo 30. Registro de riego Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 10 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):	235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:	19,66mm/día								FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml			h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2			31/3/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	61,17	520,14	405,31	458,97	**344,14**	**1750,00**	1500,00	**1920,00**		
	DESNUDO 2	73,12	269,11	219,61	195,99	**146,49**	**1560,00**	1420,00	**2000,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	79,84	193,94	161,39	114,10	**81,55**	**950,00**	860,00	**2560,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	77,20	162,46	136,91	85,26	**59,71**	**950,00**	870,00	**2550,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	207,64	382,70	337,08	175,06	**129,44**	**1690,00**	1560,00	**1860,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	78,92	207,07	173,34	128,15	**94,42**	**770,00**	680,00	**2740,00**		

Anexo 31. Registro de riego Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 11 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):		235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:		19,66mm/día						FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		1/4/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	61,19	382,63	301,64	321,44	**240,45**	**1340,00**	1160,00	**2260,00**		
	DESNUDO 2	65,83	289,46	231,45	223,63	**165,62**	**1520,00**	1360,00	**2060,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	100,39	233,42	198,73	133,03	**98,34**	**740,00**	630,00	**2790,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	66,43	140,92	118,24	74,49	**51,81**	**690,00**	620,00	**2800,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	57,93	212,56	172,89	154,63	**114,96**	**830,00**	720,00	**2700,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	57,13	139,68	114,71	82,55	**57,58**	**1390,00**	1310,00	**2110,00**		

Anexo 32. Registro de riego Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 12 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):		235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:			19,66mm/día					FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		2/4/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	104,64	474,55	379,49	369,91	**274,85**	**1440,00**	1200,00	**2220,00**		
	DESNUDO 2	73,12	241,92	195,56	168,80	**122,44**	**1550,00**	1410,00	**2010,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	58,99	277,21	218,33	218,22	**159,34**	**810,00**	680,00	**2740,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	65,84	192,94	157,57	127,10	**91,73**	**750,00**	670,00	**2750,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	65,82	242,76	196,16	176,94	**130,34**	**1110,00**	970,00	**2450,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	57,92	275,03	219,15	217,11	**161,23**	**1200,00**	1060,00	**2360,00**		

Anexo 33. Registro de riego Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)

13.3.3. Talud 45°

DÍA 1 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 45°										
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):	235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:	19,66mm/día							FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml			h de caída de la gota:	50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2			5/4/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES
	DESNUDO 1	101,63	307,00	251,60	205,37	**149,97**	**1000,00**	860,00	**2560,00**	
	DESNUDO 2	207,61	1004,24	799,67	796,63	**592,06**	**1300,00**	800,00	**2620,00**	
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	31,27	45,02	39,48	13,75	**8,21**	**200,00**	180,00	**3240,00**	
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	70,59	152,34	126,65	81,75	**56,06**	**700,00**	530,00	**2890,00**	
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	64,40	122,05	107,37	57,65	**42,97**	**430,00**	370,00	**3050,00**	
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	72,50	134,85	114,02	62,35	**41,52**	**750,00**	700,00	**2720,00**	

Anexo 34. Registro de riego Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 2 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 45°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):		235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:			19,66mm/día					FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		6/4/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	31,00	186,54	147,28	155,54	**116,28**	**1150,00**	1000,00	**2420,00**		
	DESNUDO 2	207,83	984,59	787,59	776,76	**579,76**	**1850,00**	1500,00	**1920,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	33,01	81,64	64,94	48,63	**31,93**	**350,00**	300,00	**3120,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	61,16	180,12	145,15	118,96	**83,99**	**550,00**	480,00	**2940,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	72,52	134,33	116,92	61,81	**44,40**	**800,00**	760,00	**2660,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	101,64	370,19	299,64	268,55	**198,00**	**980,00**	820,00	**2600,00**		

Anexo 35. Registro de riego Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 3 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 45°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):		235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:			19,66mm/día					FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		7/4/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	70,60	345,62	276,13	275,02	**276,13**	**1600,00**	1400,00	**2020,00**		
	DESNUDO 2	100,39	548,35	431,16	447,96	**330,77**	**1250,00**	1450,00	**1970,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	33,33	111,60	91,26	78,27	**57,93**	**600,00**	580,00	**2840,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	30,56	279,88	211,58	249,32	**181,02**	**750,00**	560,00	**2860,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	32,00	215,08	168,26	183,08	**136,26**	**1150,00**	1010,00	**2410,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	75,07	210,54	175,15	135,47	**100,08**	**1130,00**	1000,00	**2420,00**		

Anexo 36. Registro de riego Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 4 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 45°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):	235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:	19,66mm/día								FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		8/4/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	207,73	723,01	592,38	515,28	**384,65**	**2050,00**	1650,00	**1770,00**		
	DESNUDO 2	207,69	719,94	588,14	512,25	**380,45**	**1650,00**	1200,00	**2220,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	61,19	216,37	172,15	155,18	**110,96**	**830,00**	680,00	**2740,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	104,66	355,81	290,51	251,15	**185,85**	**640,00**	500,00	**2920,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	59,01	268,25	214,21	209,24	**155,20**	**990,00**	800,00	**2620,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	58,05	218,21	172,31	160,16	**114,26**	**830,00**	720,00	**2700,00**		

Anexo 37. Registro de riego Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 5 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 45°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):	235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:	19,66mm/día								FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		9/4/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	58,99	429,68	327,92	370,69	**268,93**	**1510,00**	1280,00	**2140,00**		
	DESNUDO 2	100,40	450,46	356,16	350,06	**255,76**	**1700,00**	1500,00	**1920,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	73,13	174,90	148,14	101,77	**75,01**	**750,00**	650,00	**2770,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	104,63	246,32	209,19	141,69	**104,56**	**900,00**	800,00	**2620,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	70,62	210,89	165,61	140,27	**94,99**	**820,00**	710,00	**2710,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	72,51	198,01	173,07	125,50	**100,56**	**1370,00**	1200,00	**2220,00**		

Anexo 38. Registro de riego Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 6 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 45°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):		235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:		19,66mm/día						FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		12/4/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	104,66	509,99	407,66	405,33	**303,00**	**1970,00**	1780,00	**1640,00**		
	DESNUDO 2	59,00	436,69	334,44	377,69	**275,44**	**1750,00**	1530,00	**1890,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	72,51	297,11	240,11	224,60	**167,60**	**990,00**	810,00	**2610,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	33,32	131,29	101,80	97,97	**68,48**	**950,00**	860,00	**2560,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	77,83	266,50	218,75	188,67	**140,92**	**1370,00**	1250,00	**2170,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	31,65	143,73	112,43	112,08	**80,78**	**1830,00**	1750,00	**1670,00**		

Anexo 39. Registro de riego Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 7 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 45°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):	235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:	19,66mm/día								FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml			h de caída de la gota:	50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2				13/4/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	104,61	985,64	769,69	881,03	**665,08**	**2100,00**	1600,00	**1820,00**		
	DESNUDO 2	107,67	1004,26	800,94	896,59	**693,27**	**2100,00**	1880,00	**1540,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	72,51	157,37	129,92	84,86	**57,41**	**750,00**	690,00	**2730,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	70,60	200,85	166,76	130,25	**96,16**	**990,00**	890,00	**2530,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	75,06	250,42	211,60	175,36	**136,54**	**1470,00**	1340,00	**2080,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	67,17	167,71	157,78	100,54	**90,61**	**1340,00**	1250,00	**2170,00**		

Anexo 40. Registro de riego Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 8 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 45°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):	235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:	19,66mm/día								FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		14/4/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	101,68	640,74	508,34	539,06	**406,66**	**1890,00**	1610,00	**1810,00**		
	DESNUDO 2	207,66	1155,17	944,17	947,51	**736,51**	**2300,00**	1750,00	**1670,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	73,11	191,79	160,54	118,68	**87,43**	**1100,00**	970,00	**2450,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	61,18	207,55	168,56	146,37	**107,38**	**1230,00**	1100,00	**2320,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	58,99	188,47	152,45	129,48	**93,46**	**1230,00**	1100,00	**2320,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	65,79	216,59	173,94	150,80	**108,15**	**1410,00**	1290,00	**2130,00**		

Anexo 41. Registro de riego Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 9 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 45°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):		235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:		19,66mm/día						FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		15/4/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	207,08	973,20	797,45	766,12	**590,37**	**2040,00**	1550,00	**1870,00**		
	DESNUDO 2	214,91	1145,93	930,38	931,02	**715,47**	**2750,00**	2200,00	**1220,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	75,07	282,25	227,64	207,18	**152,57**	**1410,00**	1280,00	**2140,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	61,15	125,17	105,43	64,02	**44,28**	**700,00**	650,00	**2770,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	101,63	418,11	335,54	316,48	**233,91**	**1770,00**	1590,00	**1830,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	100,39	349,93	290,20	249,54	**189,81**	**1510,00**	1390,00	**2030,00**		

Anexo 42. Registro de riego Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 10 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 45°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):	235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:	19,66mm/día								FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		16/4/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	207,68	1319,34	1064,85	1111,66	**857,17**	**2950,00**	2360,00	**1060,00**		
	DESNUDO 2	107,12	864,08	688,67	756,96	**581,55**	**2300,00**	1750,00	**1670,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	67,17	132,83	115,66	65,66	**48,49**	**1360,00**	1300,00	**2120,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	70,60	238,63	196,15	168,03	**125,55**	**1300,00**	1170,00	**2250,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	72,51	328,75	269,12	256,24	**196,61**	**1570,00**	1350,00	**2070,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	66,45	277,85	219,85	211,40	**153,40**	**1550,00**	1380,00	**2040,00**		

Anexo 43. Registro de riego Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 11 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 45°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):	235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:	19,66mm/día								FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		19/4/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	207,65	949,91	776,31	742,26	**568,66**	**2200,00**	1730,00	**1690,00**		
	DESNUDO 2	208,70	956,74	779,16	748,04	**570,46**	**1900,00**	1400,00	**2020,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	74,05	216,24	180,08	142,19	**106,03**	**1310,00**	1200,00	**2220,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	104,64	295,63	245,96	190,99	**141,32**	**960,00**	820,00	**2600,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	61,14	328,88	259,97	267,74	**198,83**	**1290,00**	1100,00	**2320,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	57,92	358,95	284,15	301,03	**226,23**	**1410,00**	1200,00	**2220,00**		

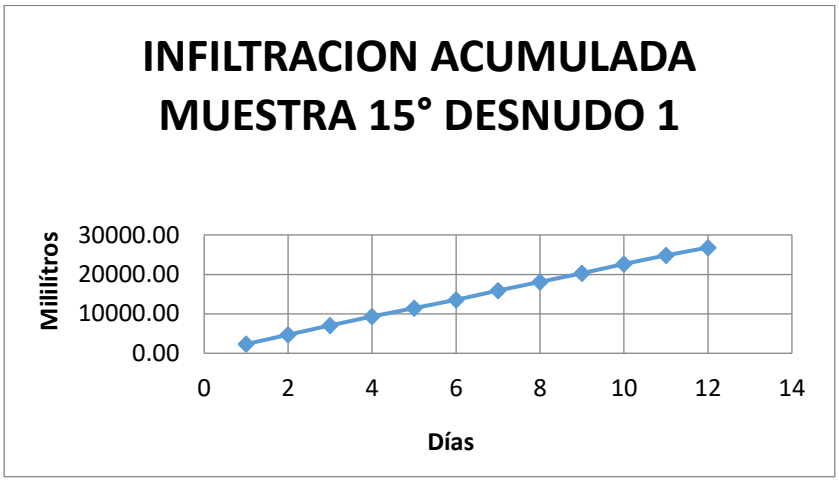
Anexo 44. Registro de riego Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

DÍA 12 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 45°											
Intensidad (datos INHAMI, noviembre 2012):		235,90mm	Intensidad del ensayo durante 12 días:			19,66mm/día					FECHA DE ENSAYO:
Precipitación:	3,42 L / 3420 ml				h de caída de la gota:		50 cm	E. Cinética:	4363,37 J/m2		20/4/2021
TALUD	MUESTRA	PESO CÁPSULA (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (gr)	SUELO EROSIONADO HUMEDO (gr)	SUELO EROSIONADO SECO (gr)	ESCORRENTÍA (AGUA + SEDIMENTO DESPRENDIDO POR LA LLUVIA) (ml)	CANTIDAD DE AGUA LLUVIA QUE NO ALCANZO A INFILTRAR EN EL SUELO (ml)	INFILTRACIÓN (ml)	OBSERVACIONES	
	DESNUDO 1	207,01	1103,30	896,60	896,29	**689,59**	**2570,00**	2000,00	**1420,00**		
	DESNUDO 2	107,13	580,01	462,71	472,88	**355,58**	**2250,00**	1850,00	**1570,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 1	101,64	282,12	235,73	180,48	**134,09**	**1290,00**	1150,00	**2270,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA DE COCO 2	58,99	255,40	204,75	196,41	**145,76**	**1100,00**	930,00	**2490,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 1	100,42	356,16	292,46	255,74	**192,04**	**1300,00**	1100,00	**2320,00**		
	RECUBIERTO CON GEOMANTO DE FIBRA SINTÉTICA 2	72,51	292,35	236,43	219,84	**163,92**	**1690,00**	1550,00	**1870,00**		

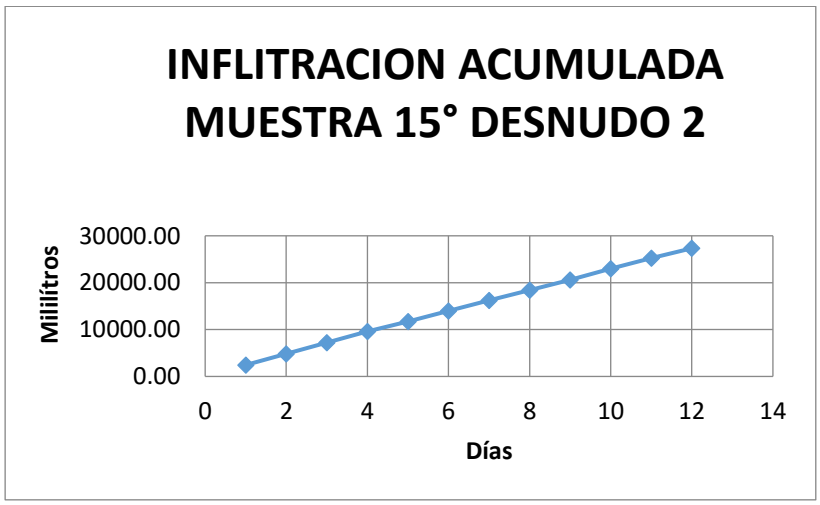
Anexo 45. Registro de riego Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

13.4. Gráficas de Infiltración

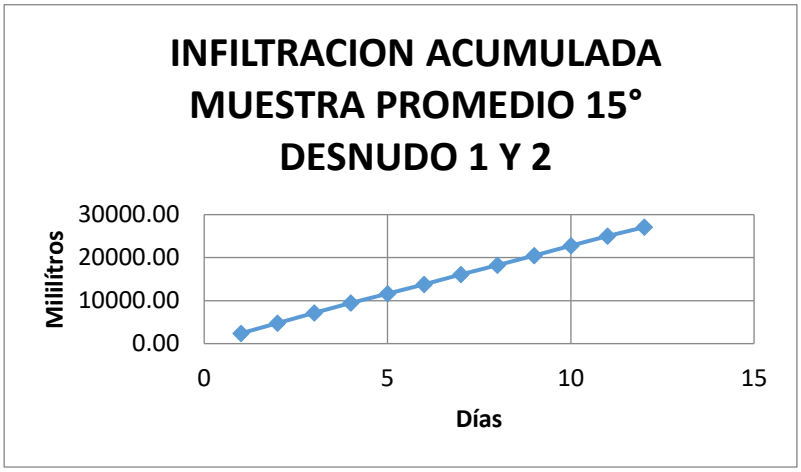
13.4.1. Talud de 15°



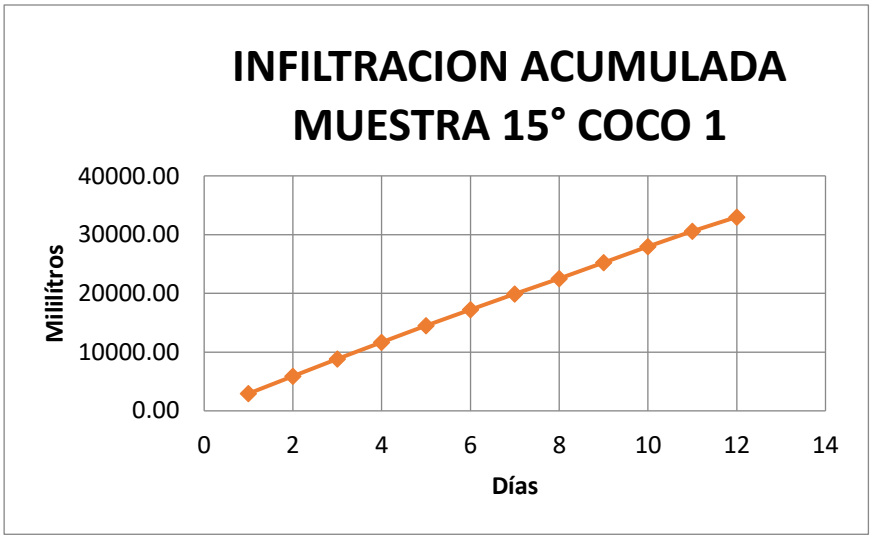
Anexo 46. Infiltración Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)



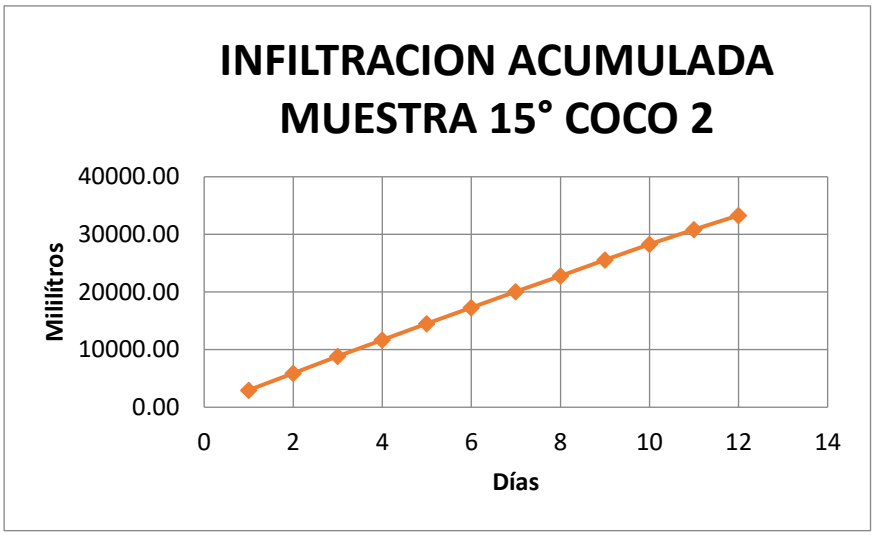
Anexo 47. Infiltración Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)



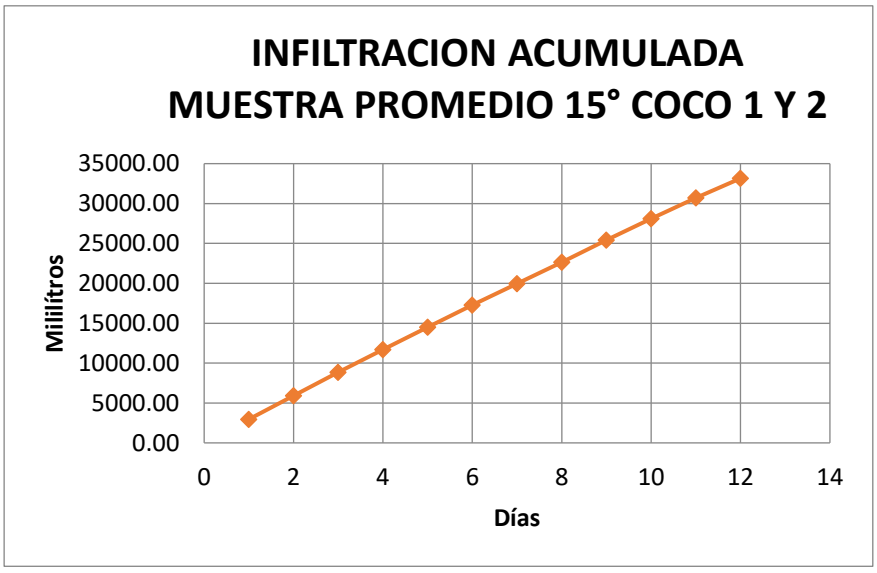
Anexo 48. Infiltración Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)



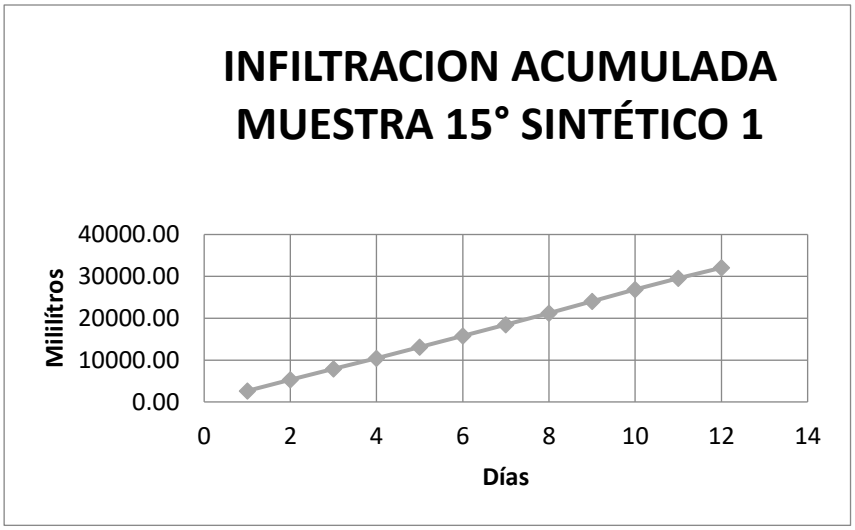
Anexo 49. Infiltración Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)



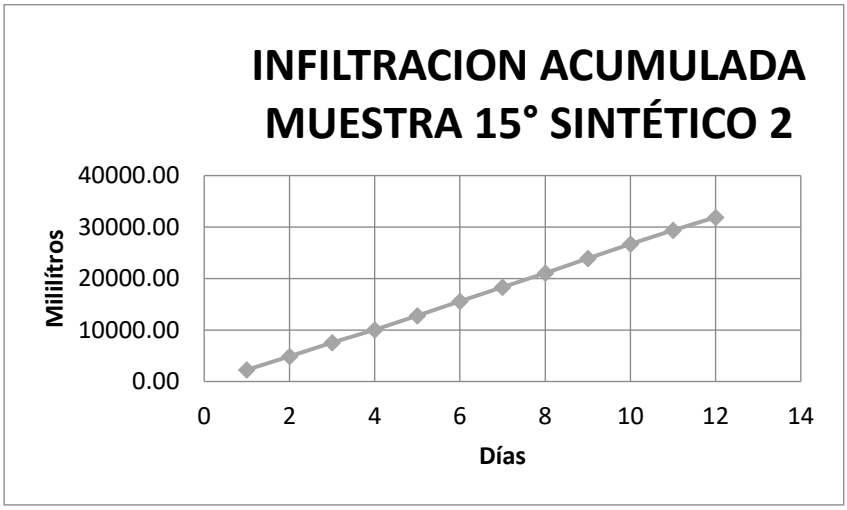
Anexo 50. Infiltración Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)



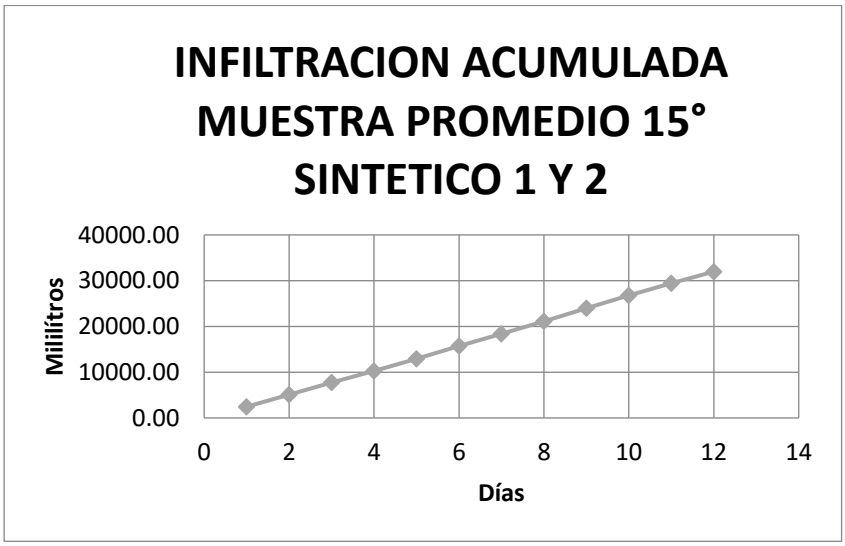
Anexo 51. Infiltración Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)



Anexo 52. Infiltración Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)

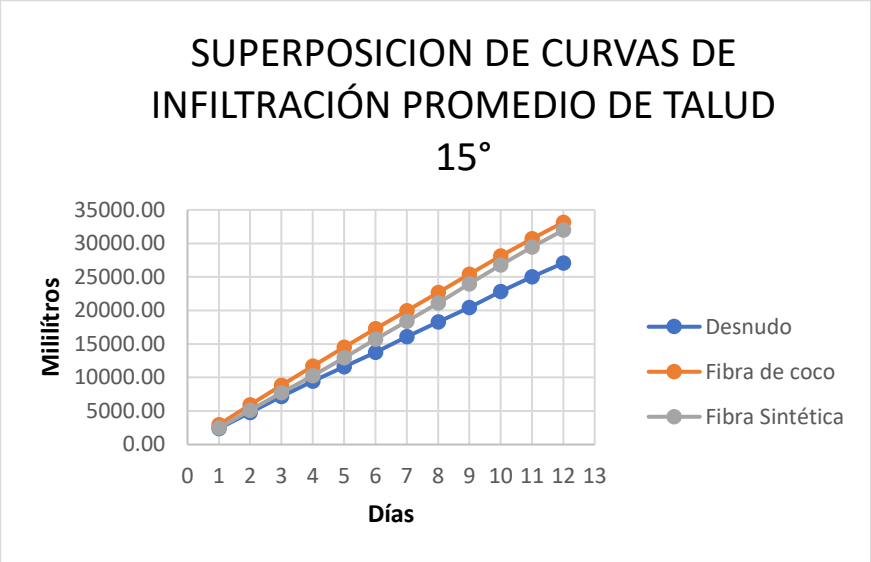


Anexo 53. Infiltración Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)



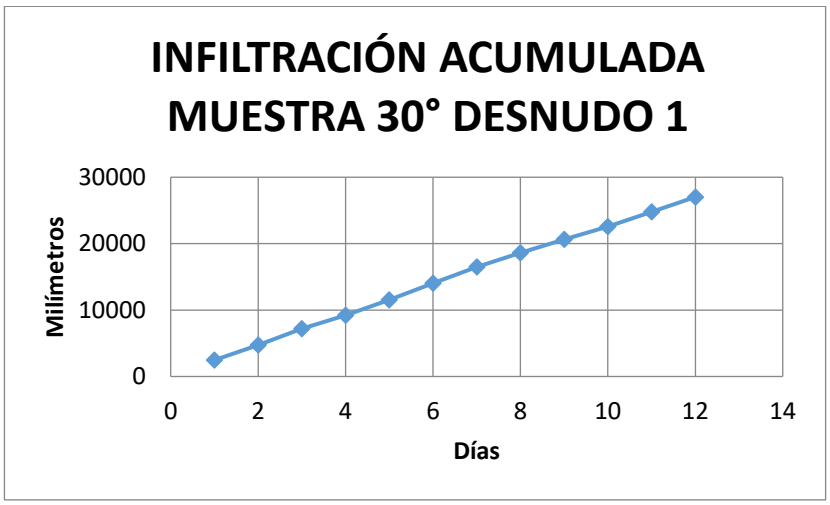
Anexo 54. Infiltración Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)

13.4.2. Talud promedio 15°

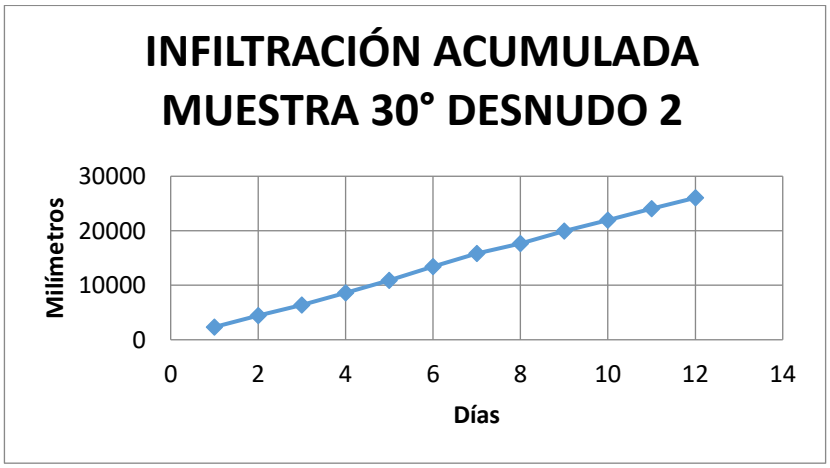


Anexo 55. Infiltración Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)

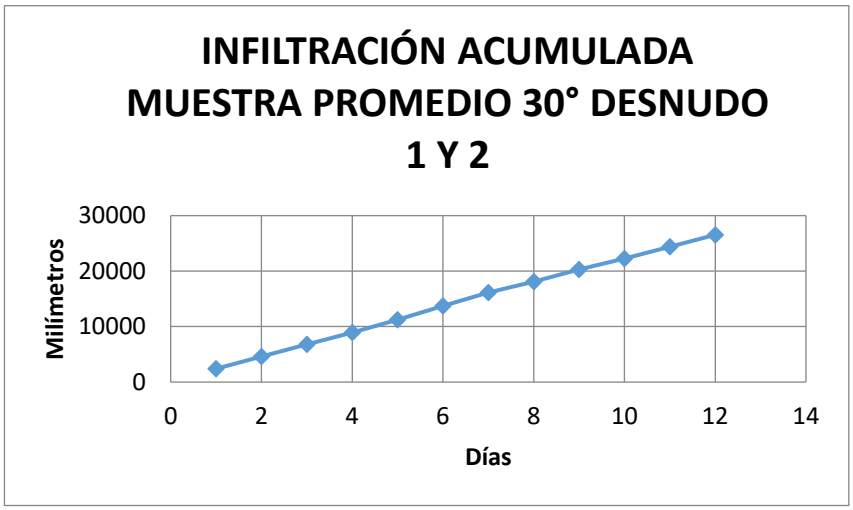
13.4.3. Talud de 30°



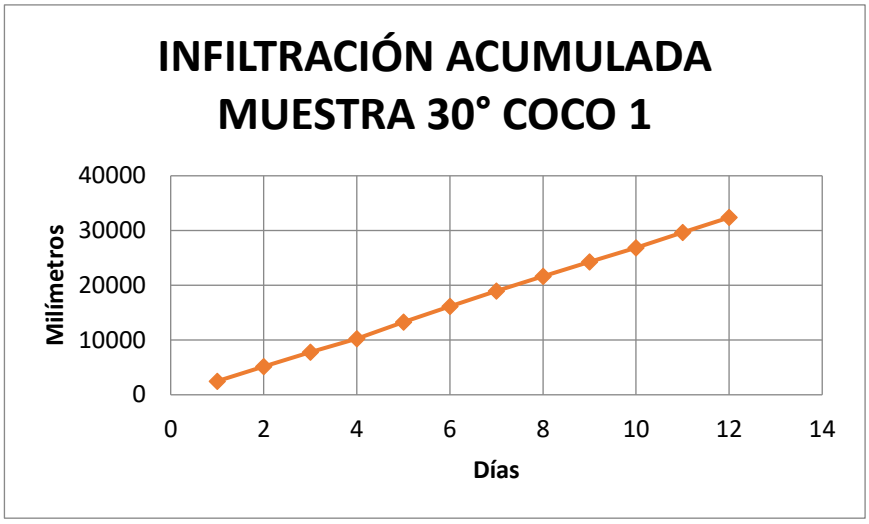
Anexo 56. Infiltración Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)



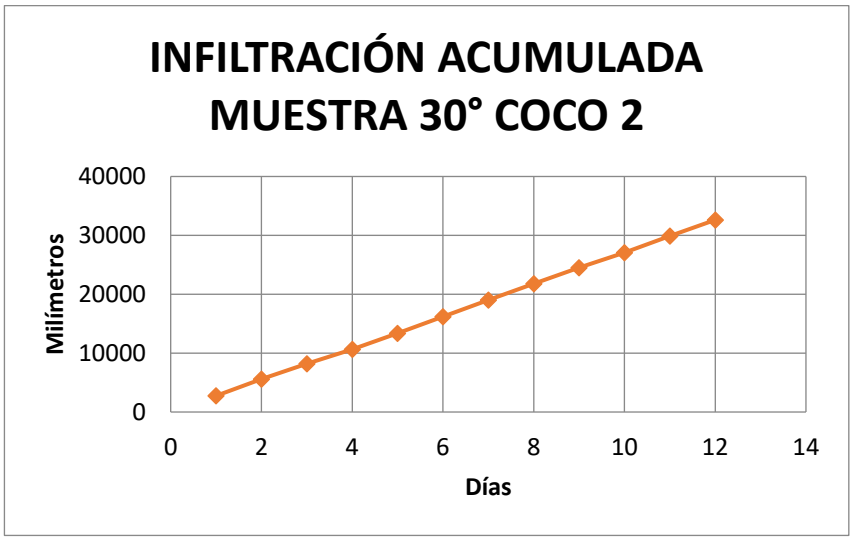
Anexo 57. Infiltración Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)



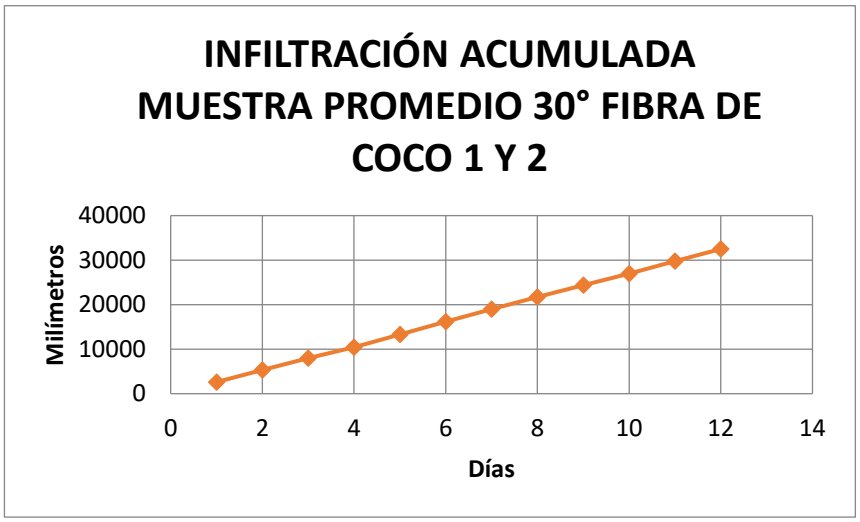
Anexo 58. Infiltración Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)



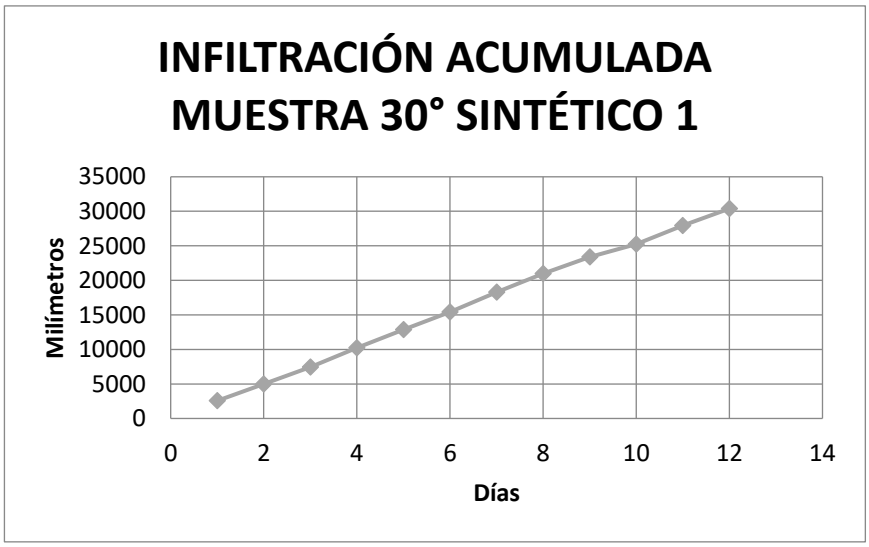
Anexo 59. Infiltración Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)



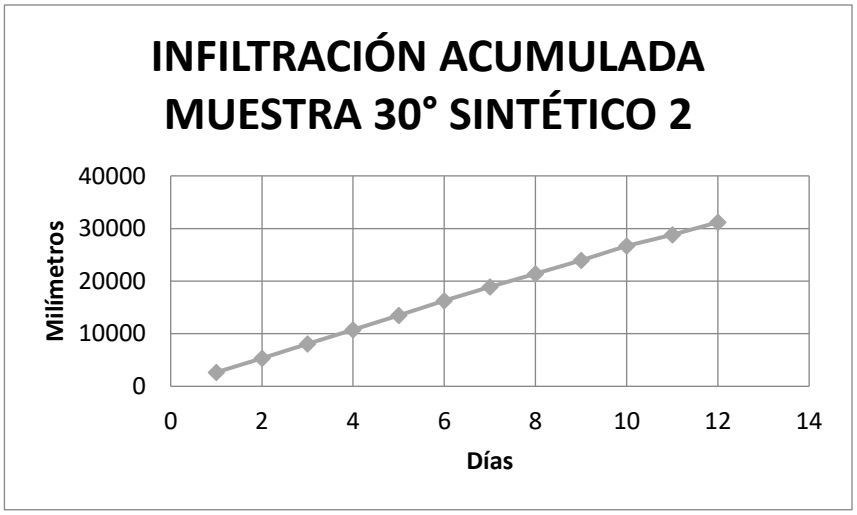
Anexo 60. Infiltración Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)



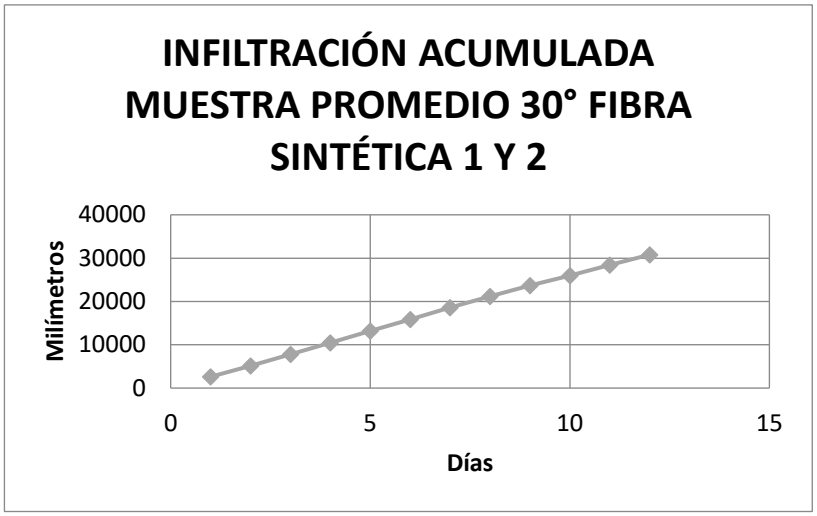
Anexo 61. Infiltración Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)



Anexo 62. Infiltración Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)

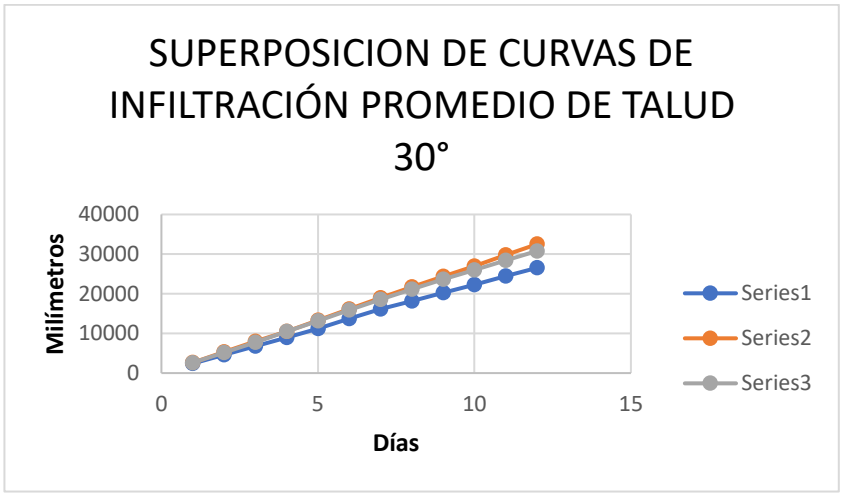


Anexo 63. Infiltración Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)



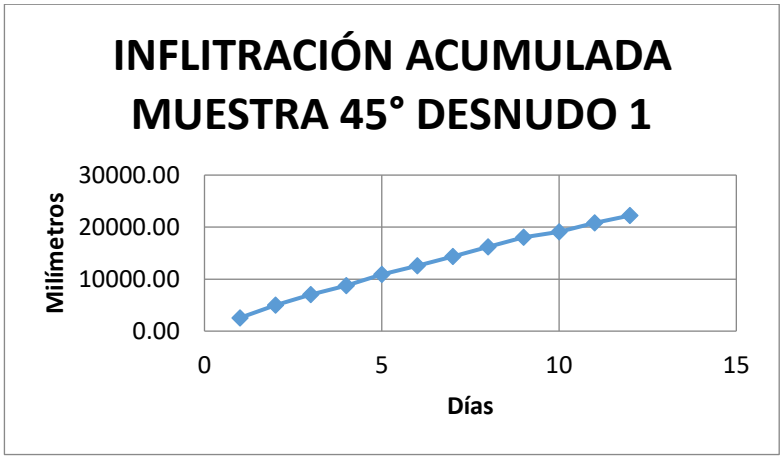
Anexo 64. Infiltración Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)

13.4.4. Talud promedio 30°

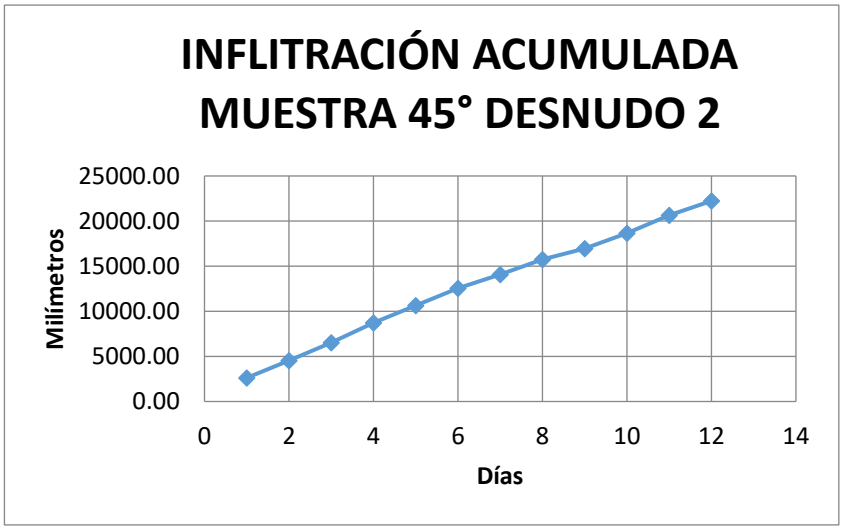


Anexo 65. Infiltración Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)

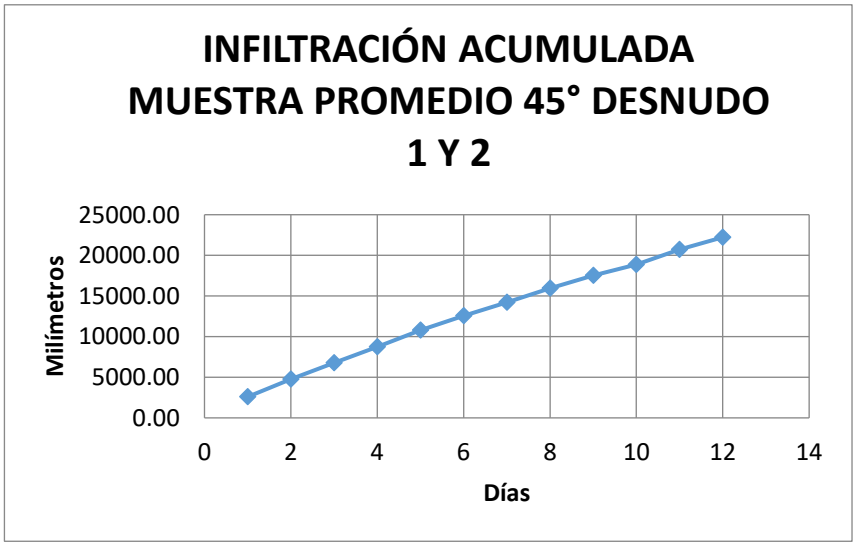
13.4.5. Talud de 45°



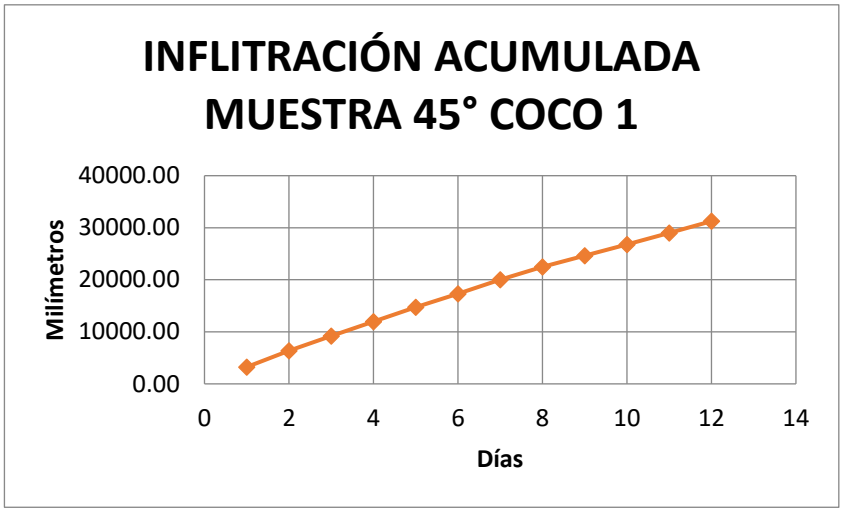
Anexo 66. Infiltración Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)



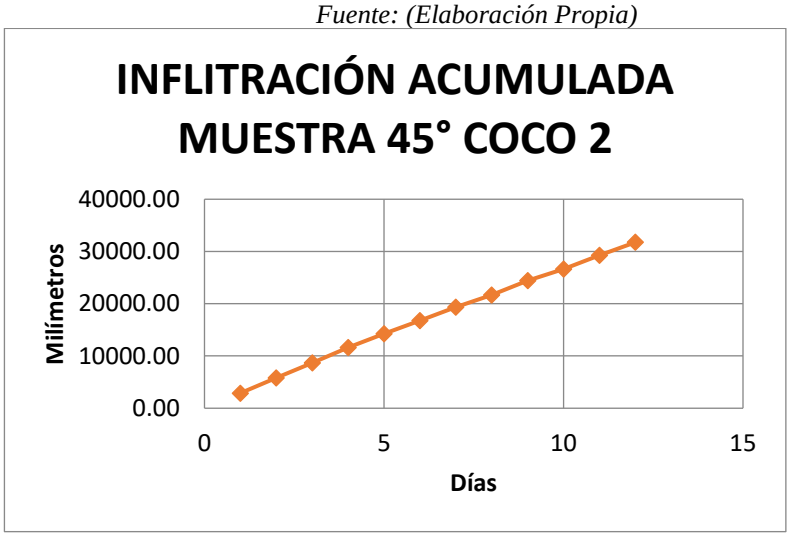
Anexo 67. Infiltración Talud 45°
Fuente:(Elaboración Propia)



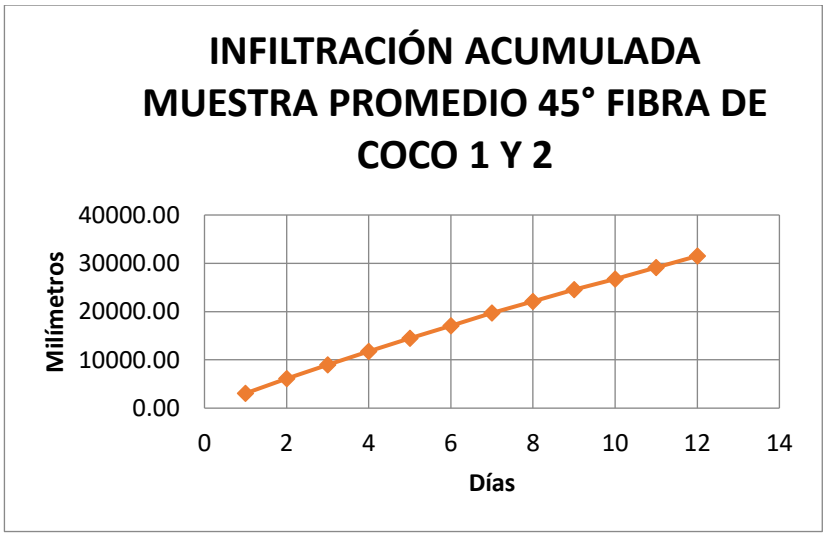
Anexo 68. Infiltración Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)



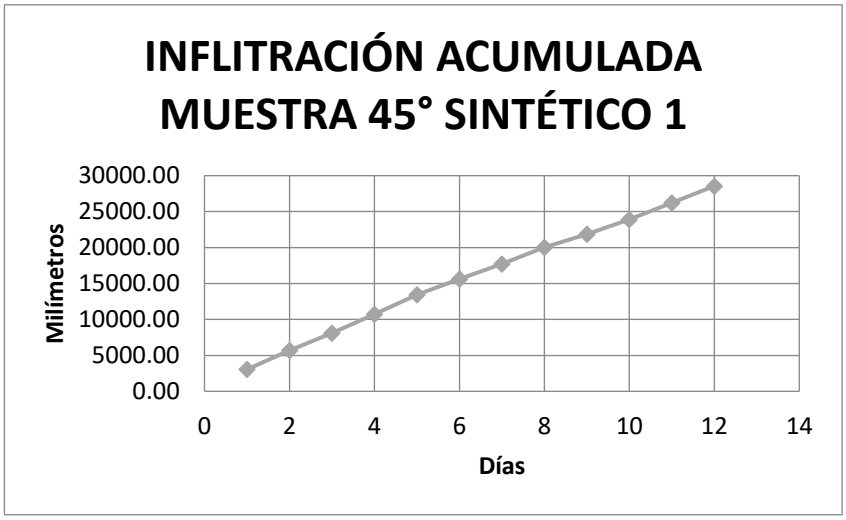
Anexo 69. Infiltración Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)



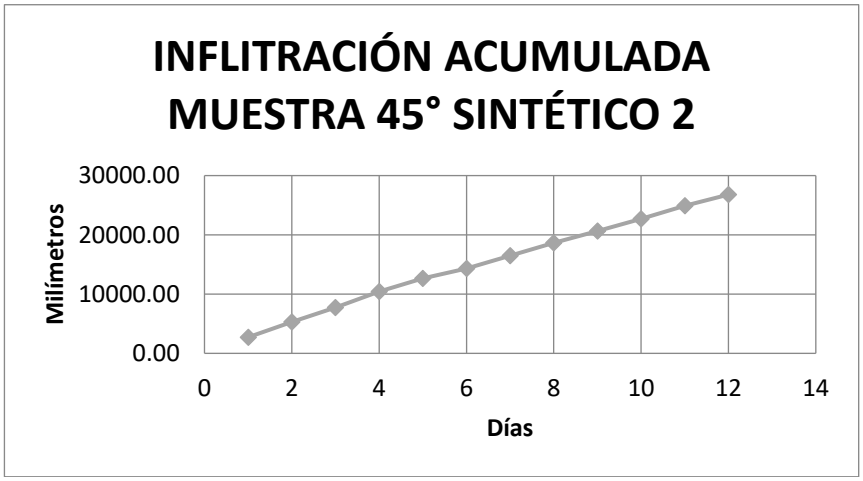
Anexo 70. Infiltración Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)



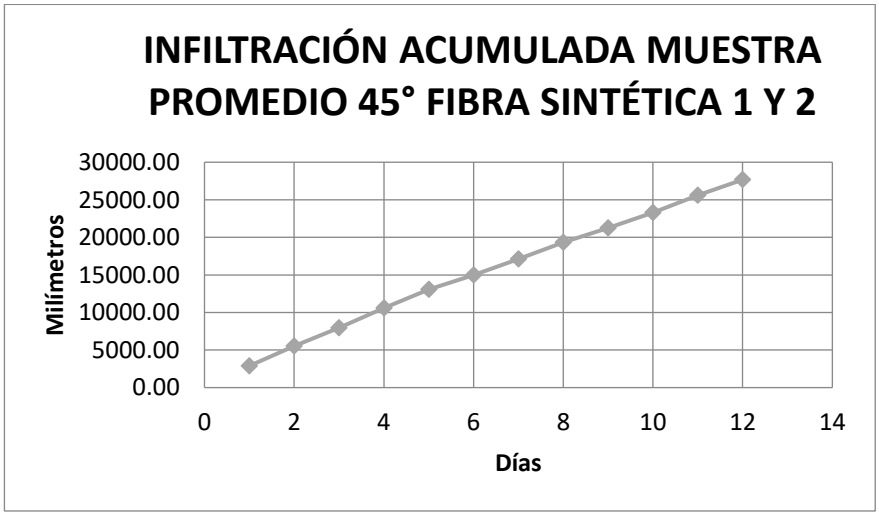
Anexo 71. Infiltración Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)



Anexo 72. Infiltración Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

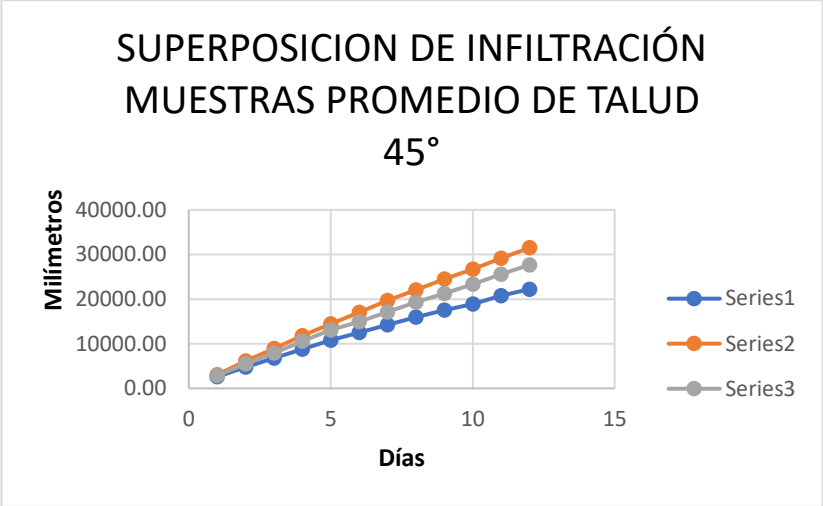


Anexo 73. Infiltración Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)



Anexo 74. Infiltración Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

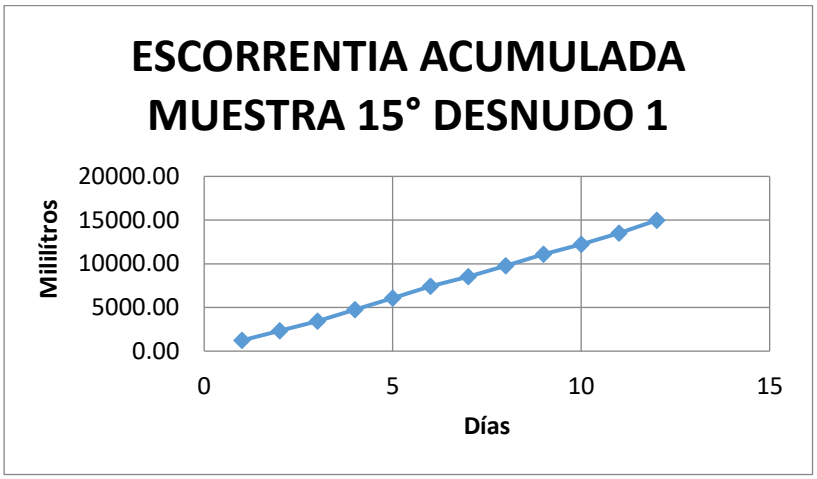
13.4.6. Talud promedio 45°



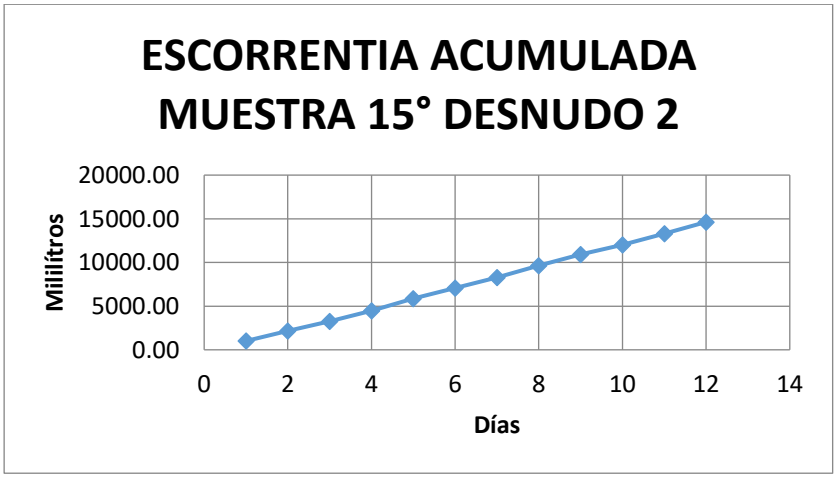
Anexo 75. Infiltración Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

13.5. Gráficas de Escorrentía

13.5.1. Talud de 15°



Anexo 76. Escorrentía Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)



Anexo 77. Escorrentía Talud 15°

Fuente: (Elaboración Propia)



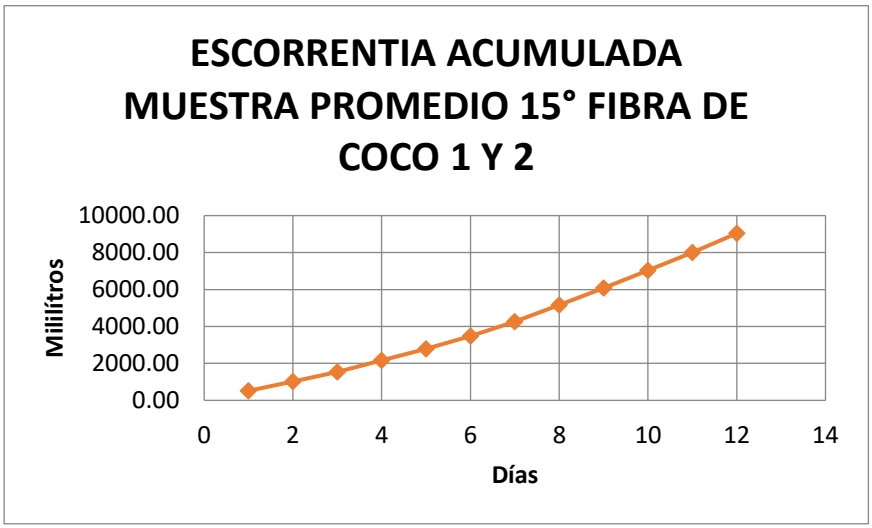
Anexo 78. Escorrentía Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)



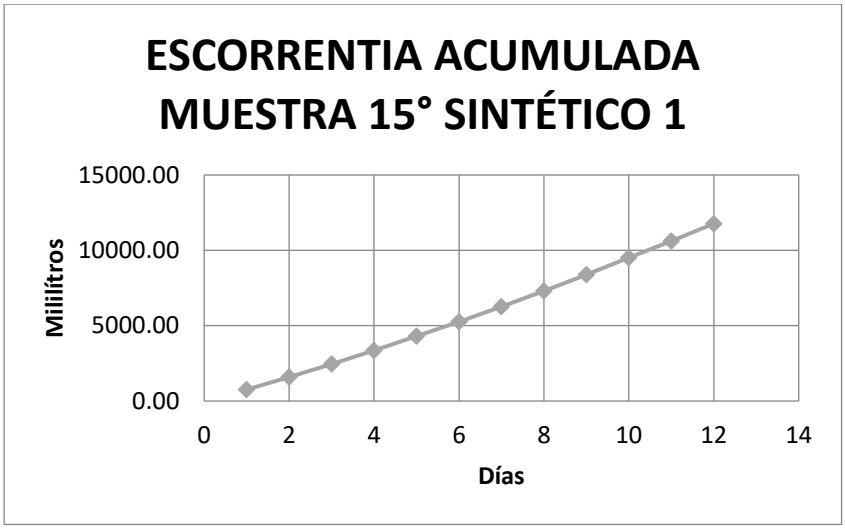
Anexo 79. Escorrentía Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)



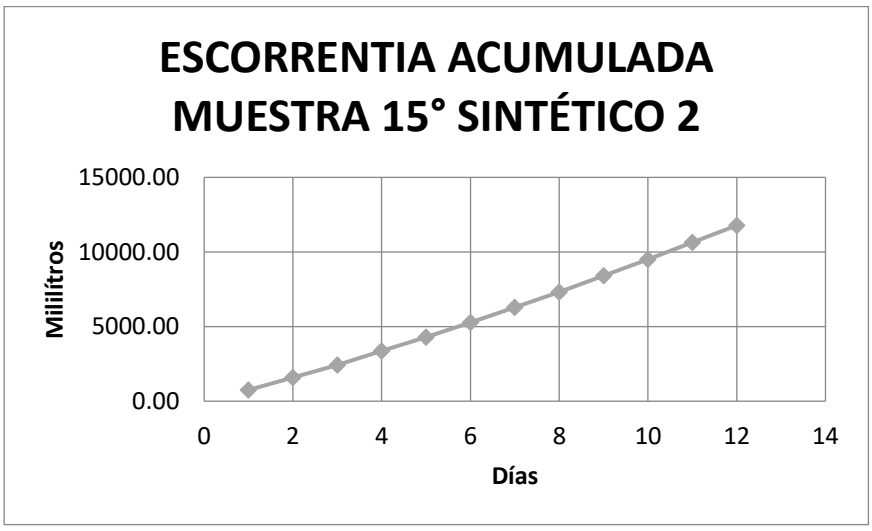
Anexo 80. Escorrentía Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)



Anexo 81. Escorrentía Talud 15°
Fuente:(Elaboración Propia)



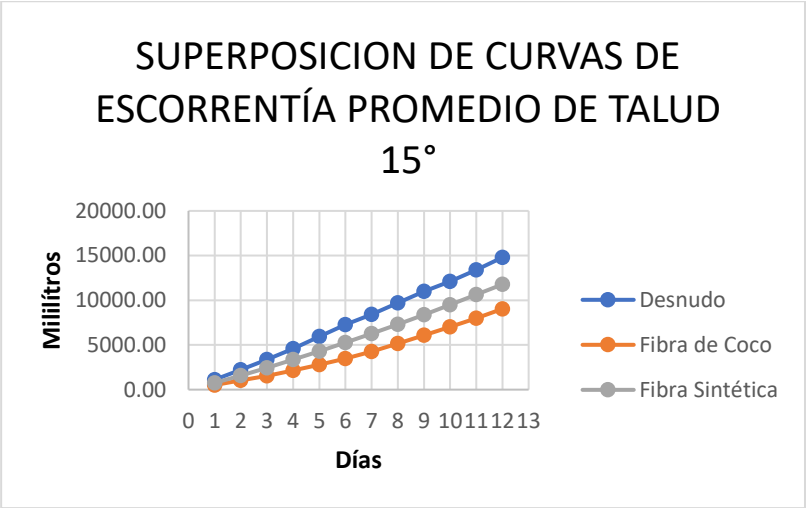
Anexo 82. Escorrentía Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)



Anexo 83. Escorrentía Talud 15°

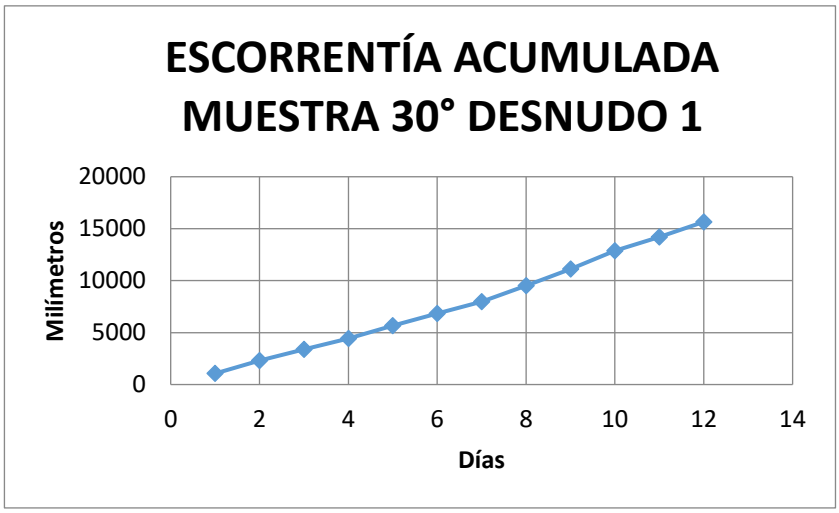
Fuente: (Elaboración Propia)

13.5.2. Talud promedio 15°

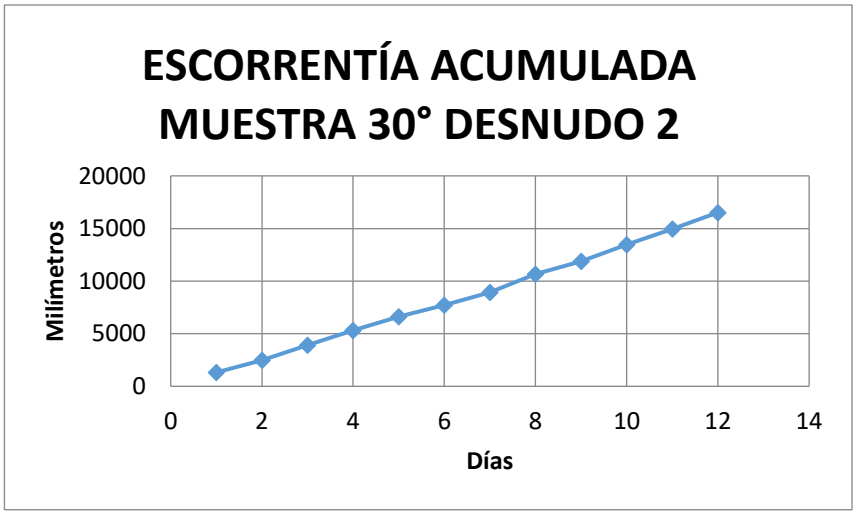


Anexo 84. Escorrentía Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)

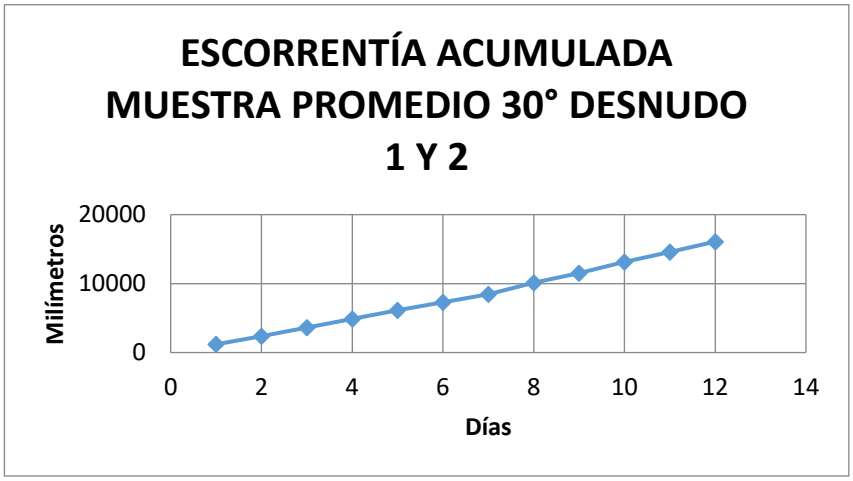
13.5.3. Talud de 30°



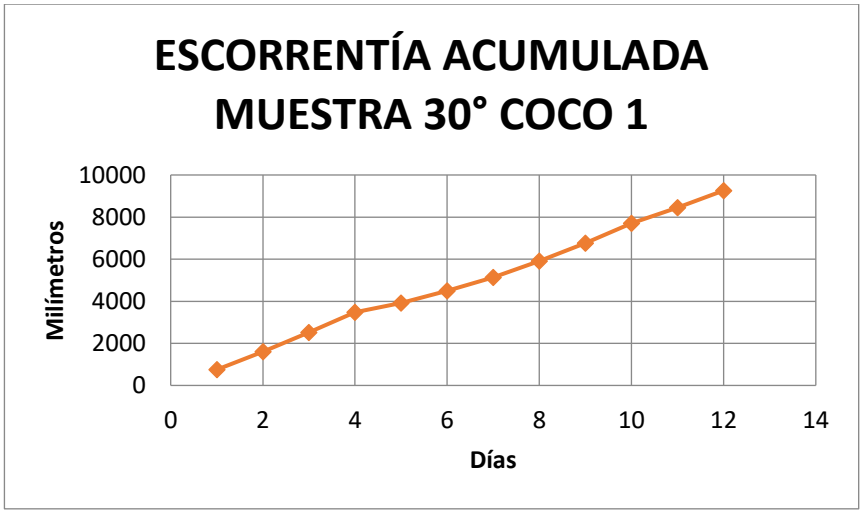
Anexo 85. Escorrentía Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)



Anexo 86. Escorrentía Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)



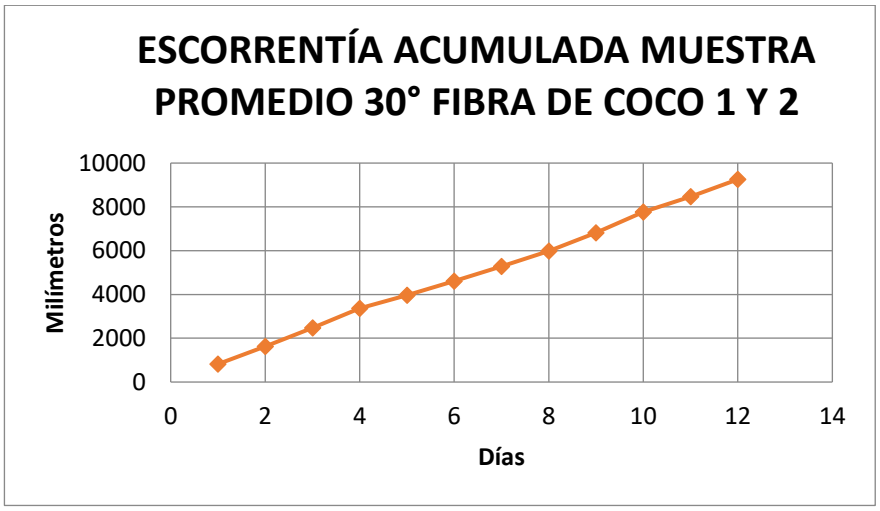
Anexo 87. Escorrentía Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)



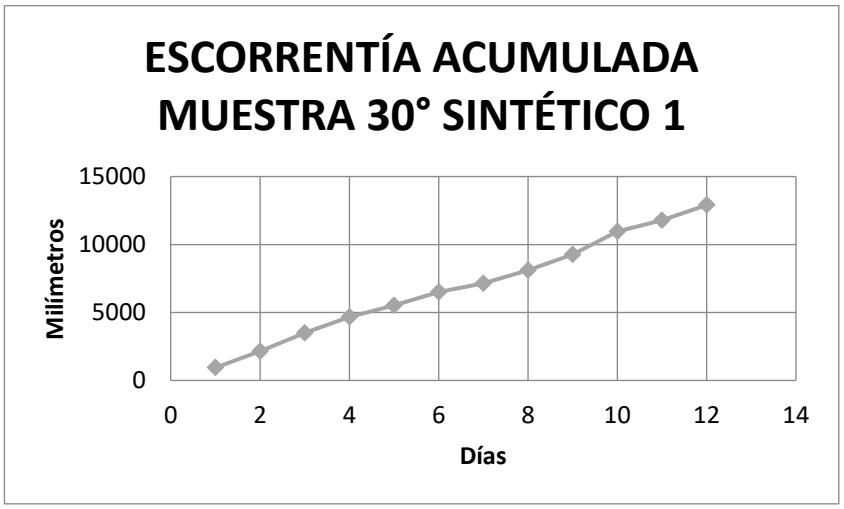
Anexo 88. Escorrentía Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)



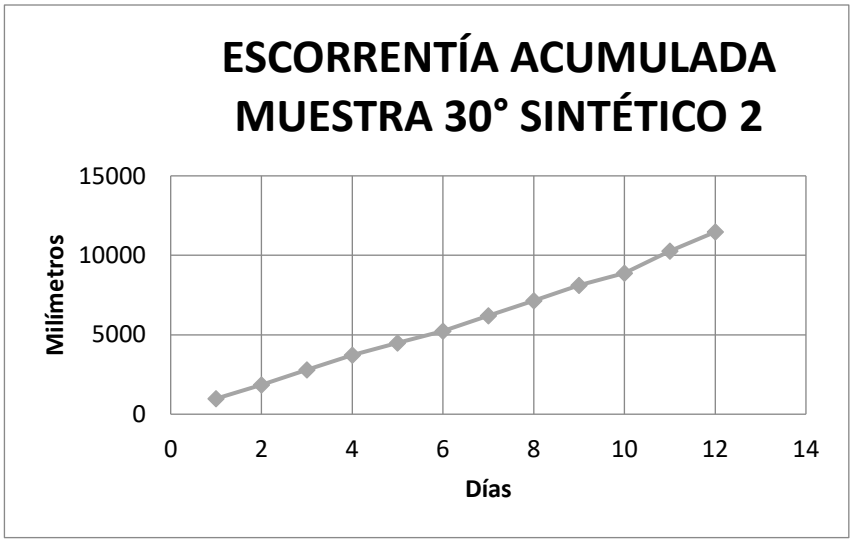
Anexo 89. Escorrentía Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)



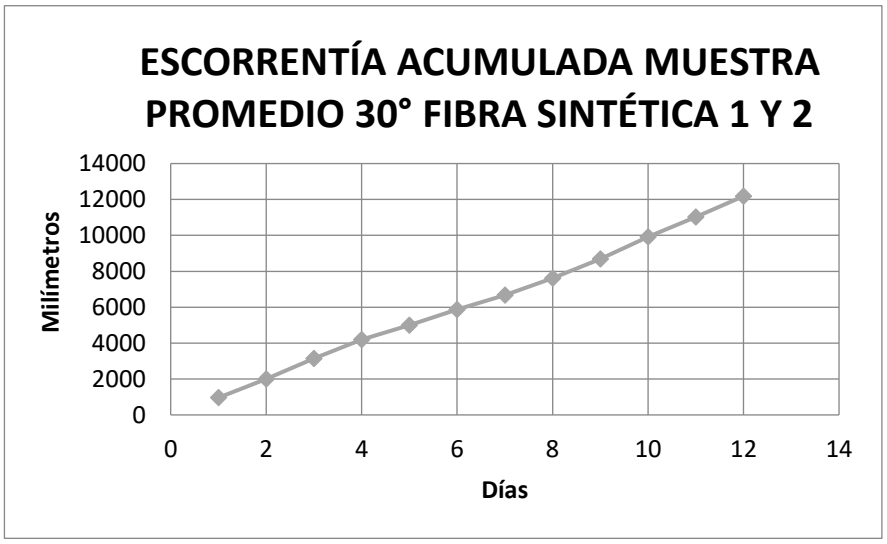
Anexo 90. Escorrentía Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)



Anexo 91. Escorrentía Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)

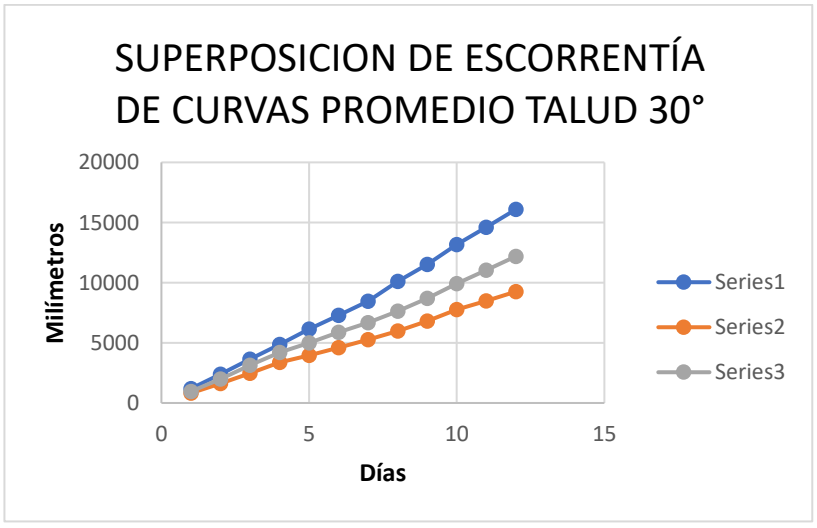


Anexo 92. Escorrentía Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)



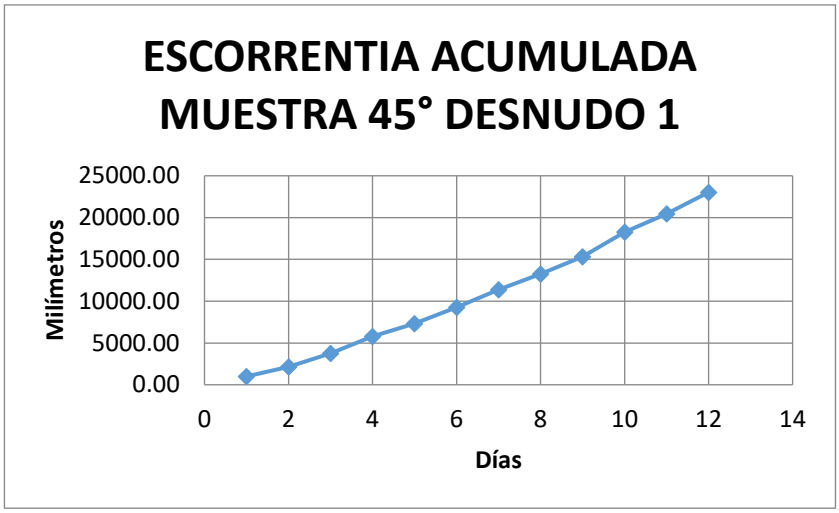
Anexo 93. Escorrentía Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)

13.5.4. Talud promedio 30°

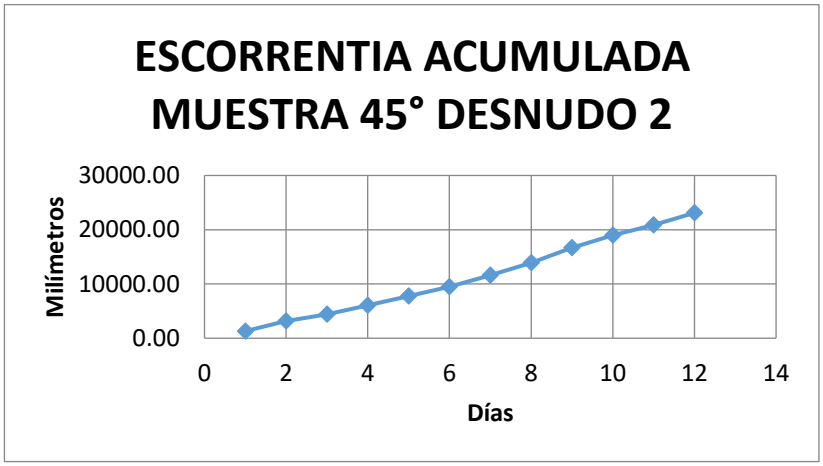


Anexo 94. Escorrentía Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)

13.5.5. Talud de 45°



Anexo 95. Escorrentía Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)



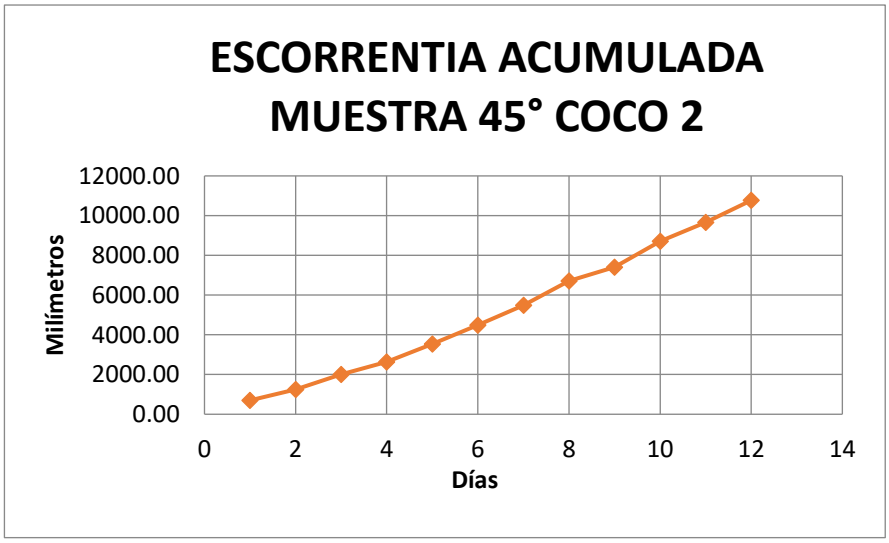
Anexo 96. Escorrentía Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)



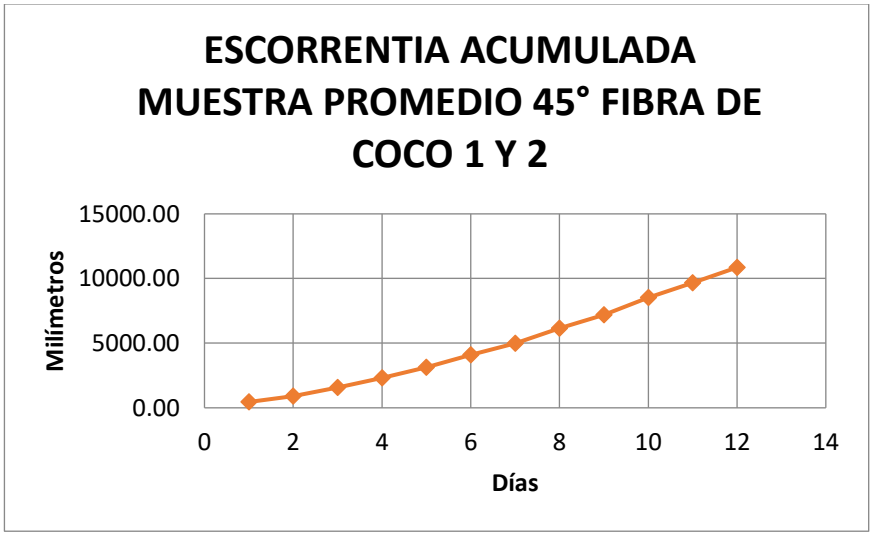
Anexo 97. Escorrentía Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)



Anexo 98. Escorrentía Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

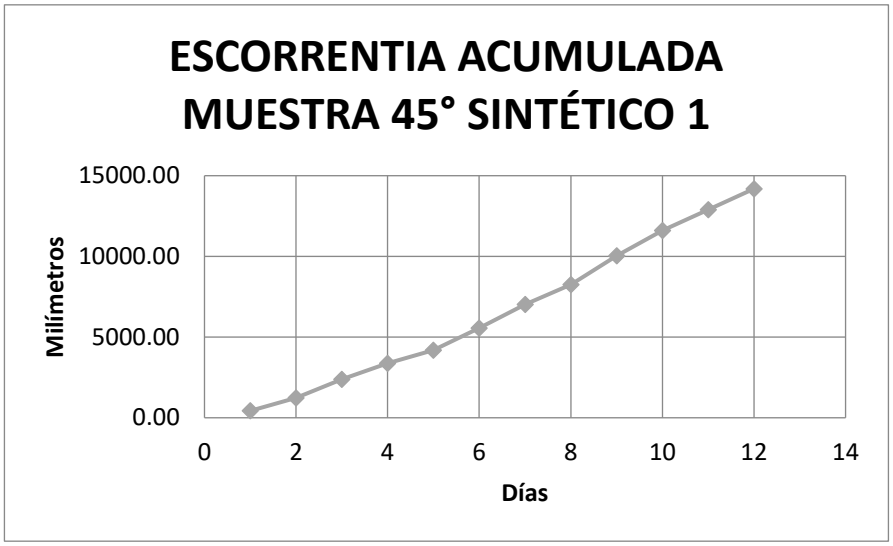


Anexo 99. Escorrentía Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

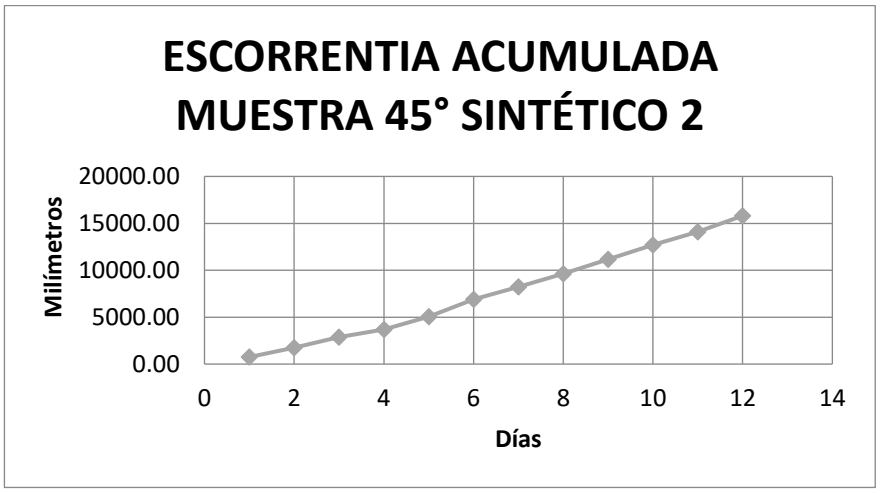


Anexo 100. Escorrentía Talud 45°

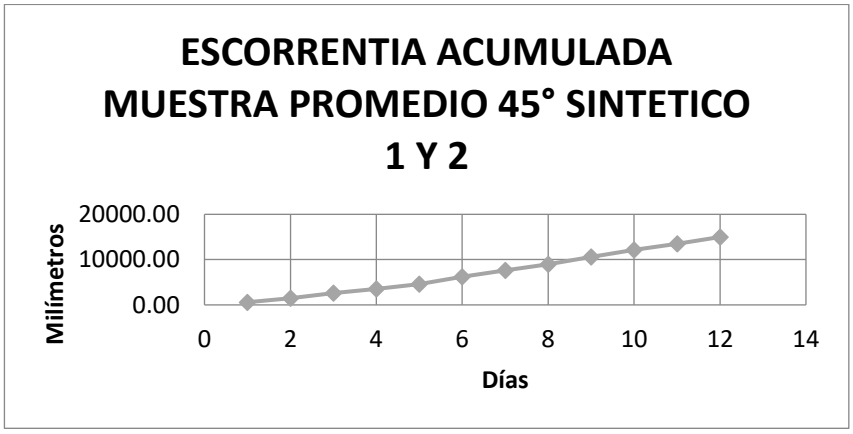
Fuente: (Elaboración Propia)



Anexo 101. Escorrentía Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

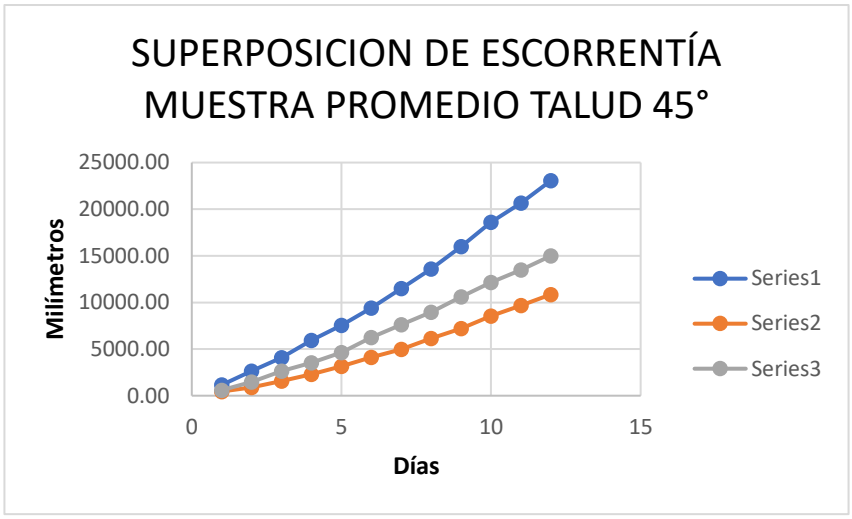


Anexo 102. Escorrentía Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)



Anexo 103. Escorrentía Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

13.5.6. Talud promedio 45°



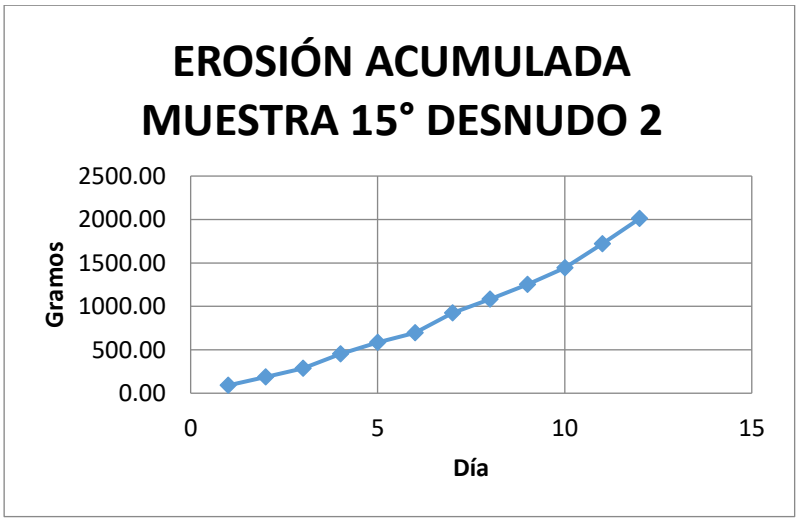
Anexo 104. Escorrentía Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

13.6. Gráficas de Erosión

13.6.1. Talud de 15°



Anexo 105. Erosión Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)



Anexo 106. Erosión Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)



Anexo 107. Erosión Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)



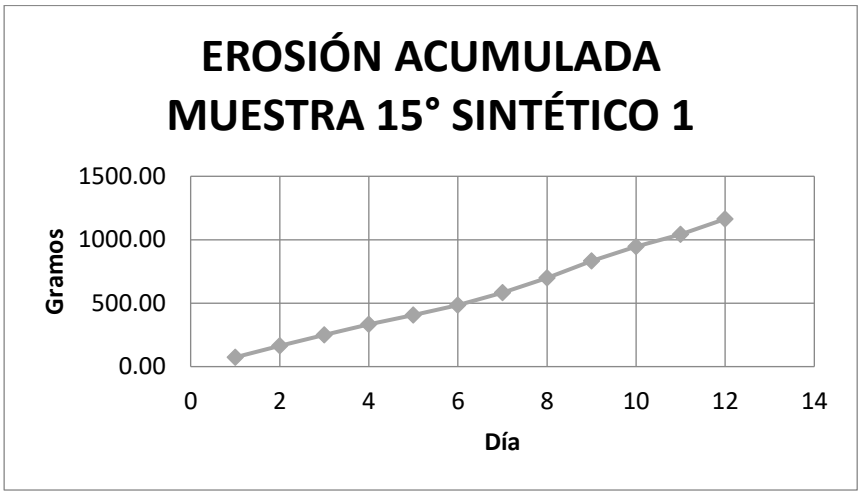
Anexo 108. Erosión Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)



Anexo 109. Erosión Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)



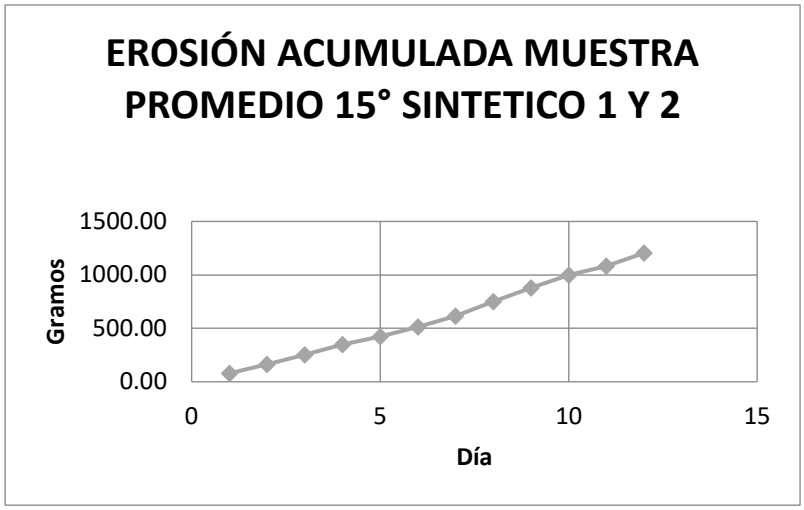
Anexo 110. Erosión Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)



Anexo 111. Erosión Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)

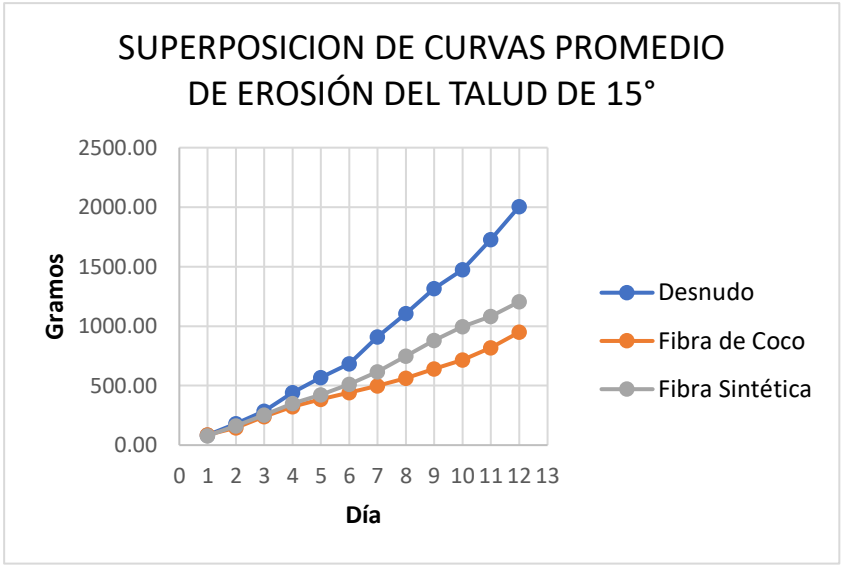


Anexo 112. Erosión Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)



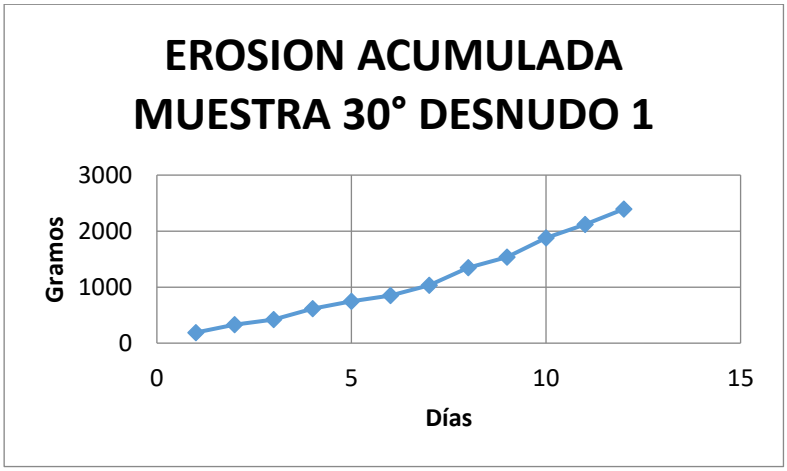
Anexo 113. Erosión Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)

13.6.2. Talud promedio 15°

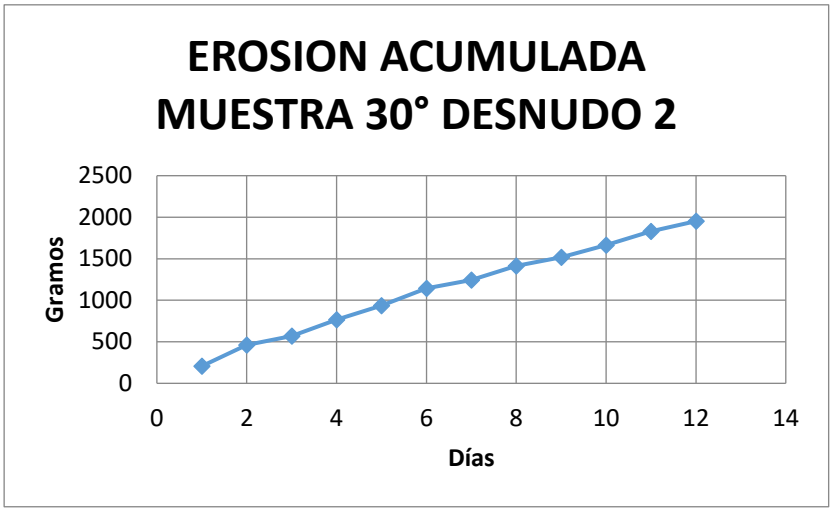


Anexo 114. Erosión Talud 15°
Fuente: (Elaboración Propia)

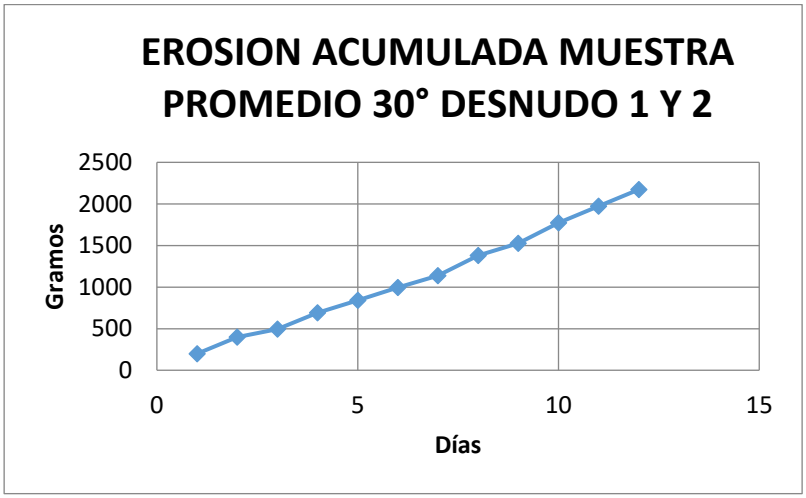
13.6.3. Talud de 30°



Anexo 115. Erosión Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)



Anexo 116. Erosión Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)



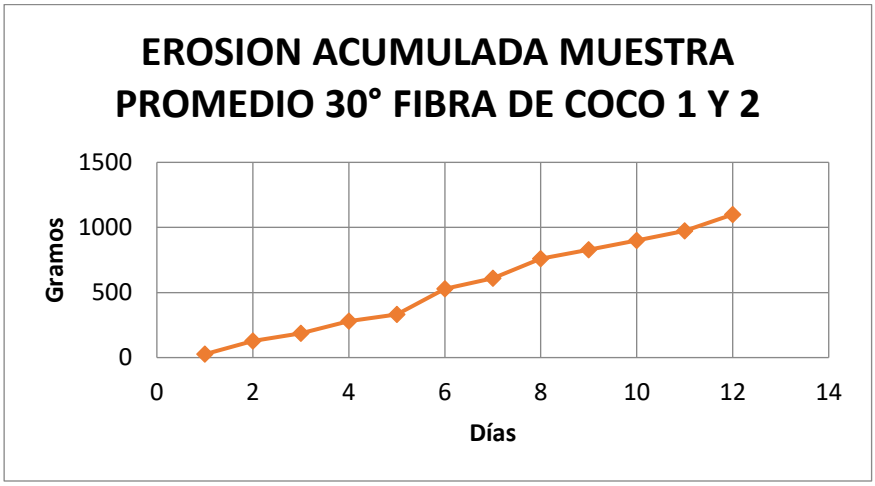
Anexo 117. Erosión Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)



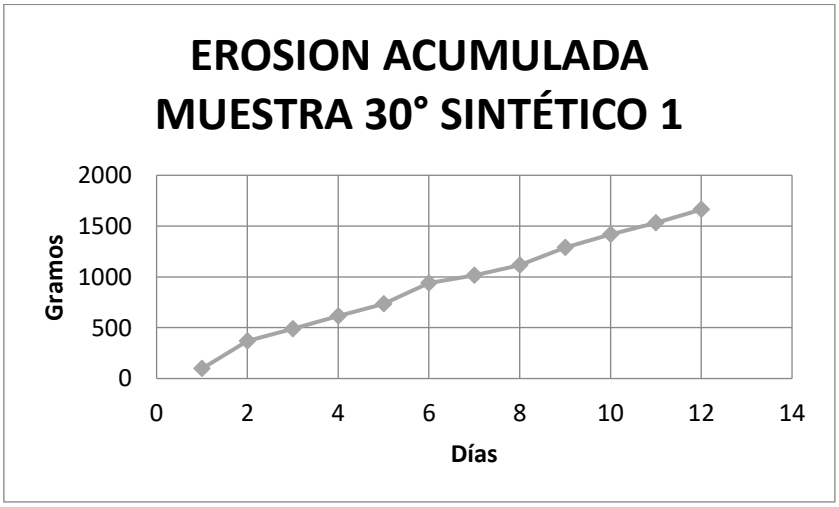
Anexo 118. Erosión Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)



Anexo 119. Erosión Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)



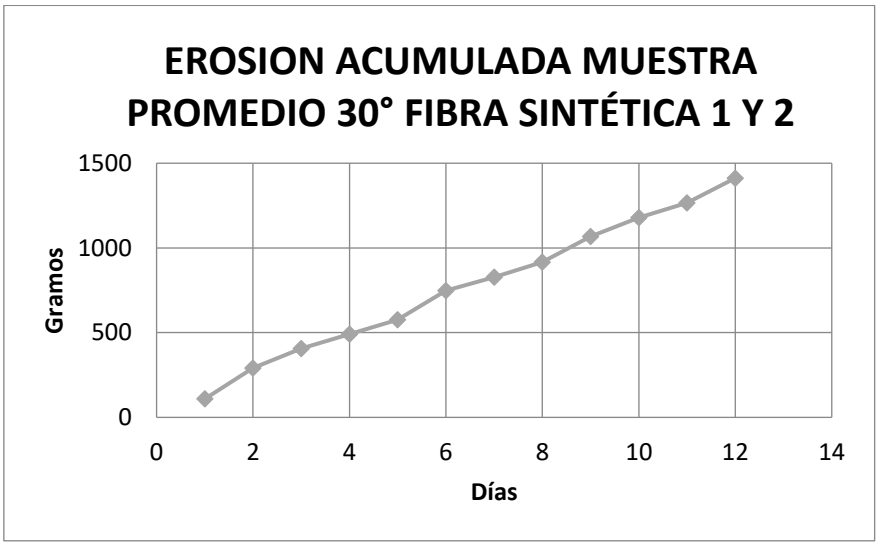
Anexo 120. Erosión Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)



Anexo 121. Erosión Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)

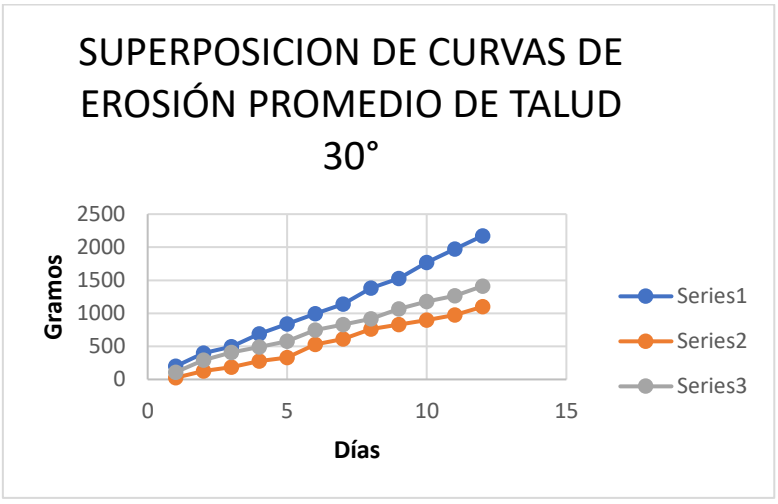


Anexo 122. Erosión Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)



Anexo 123. Erosión Talud 30°
Fuente: (Elaboración Propia)

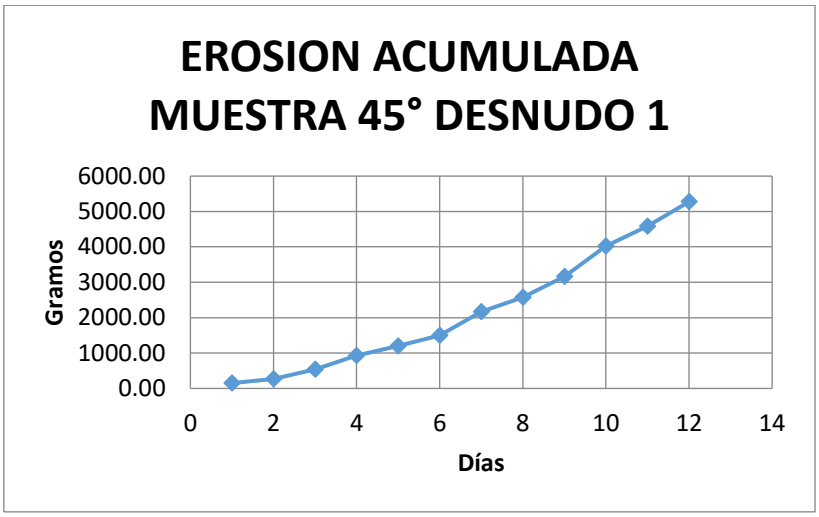
13.6.4. Talud promedio 30°



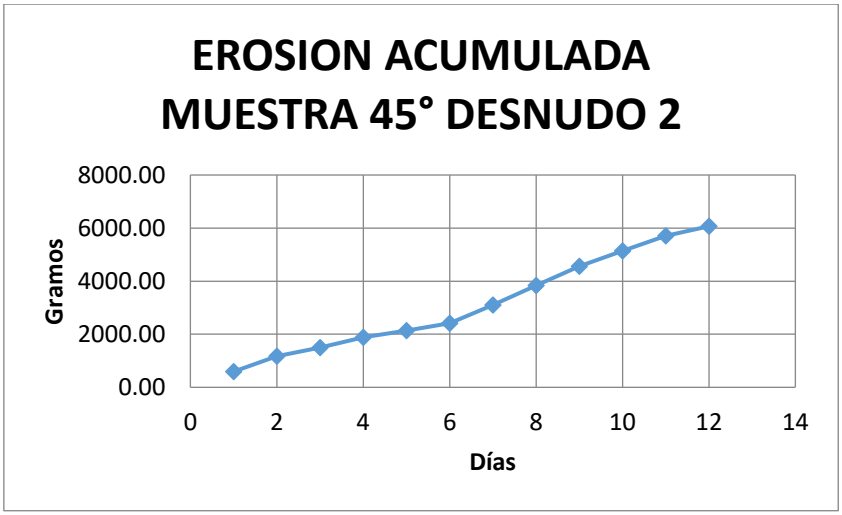
Anexo 124. Erosión Talud 30°

Fuente: (Elaboración Propia)

13.6.5. Talud de 45°



Anexo 125. Erosión Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

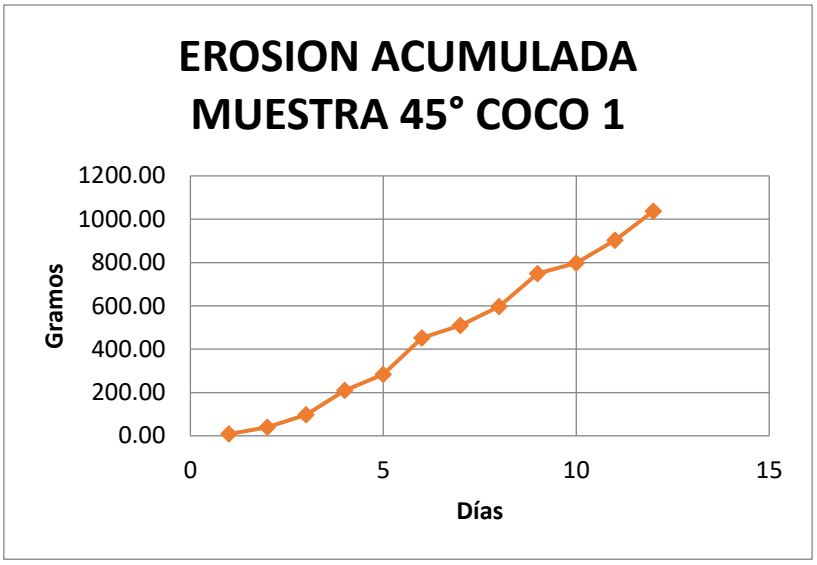


Anexo 125. Erosión Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

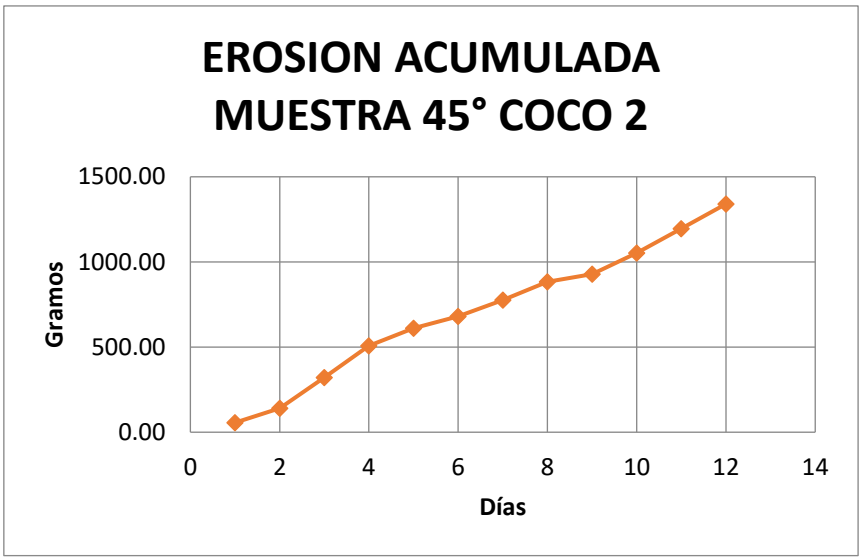


Anexo 126. Erosión Talud 45°

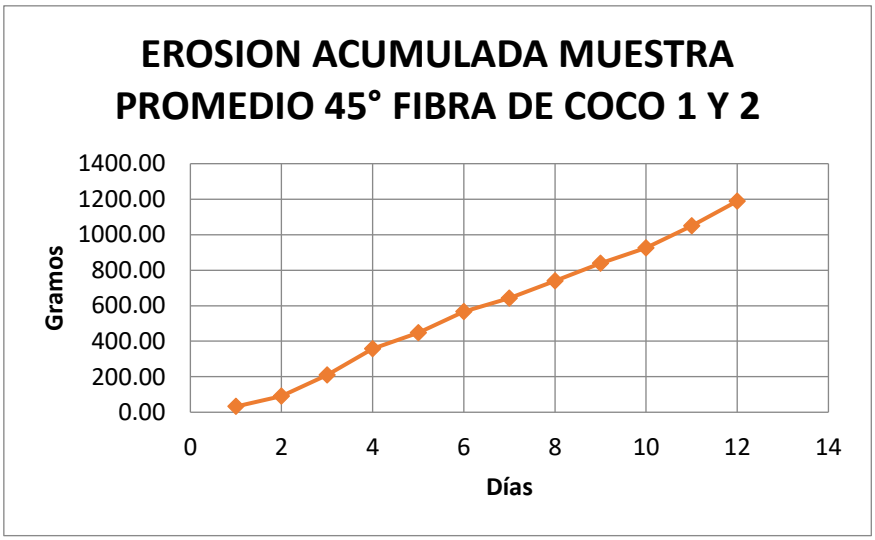
Fuente:(Elaboración Propia)



Anexo 127. Erosión Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)



Anexo 128. Erosión Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)



Anexo 129. Erosión Talud 45°
Fuente:(Elaboración Propia)



Anexo 130. Erosión Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

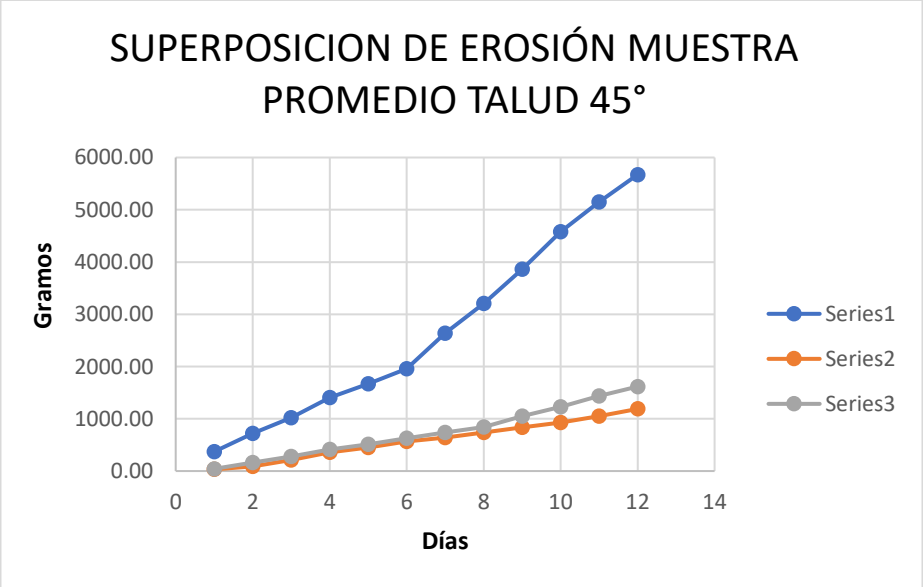


Anexo 131. Erosión Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)



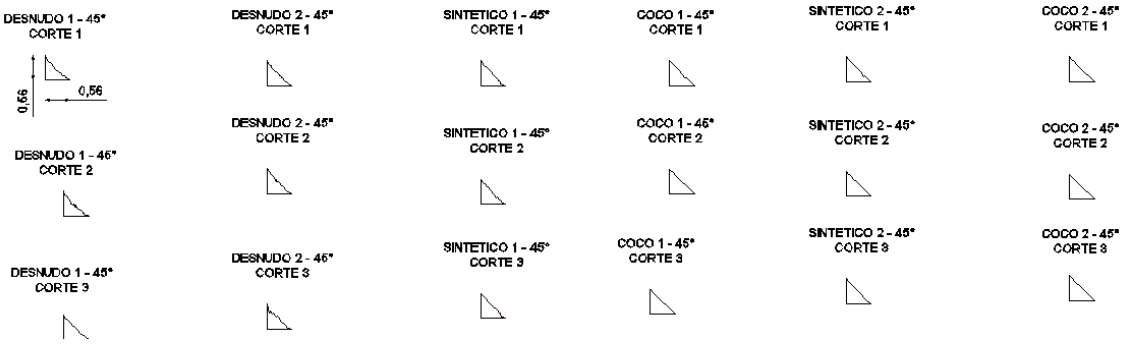
Anexo 132. Erosión Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

13.6.6. Talud promedio 45°

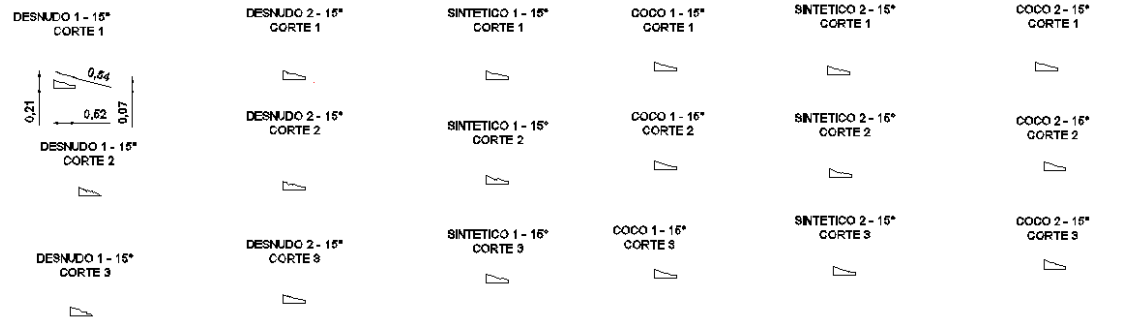


Anexo 133. Erosión Talud 45°
Fuente: (Elaboración Propia)

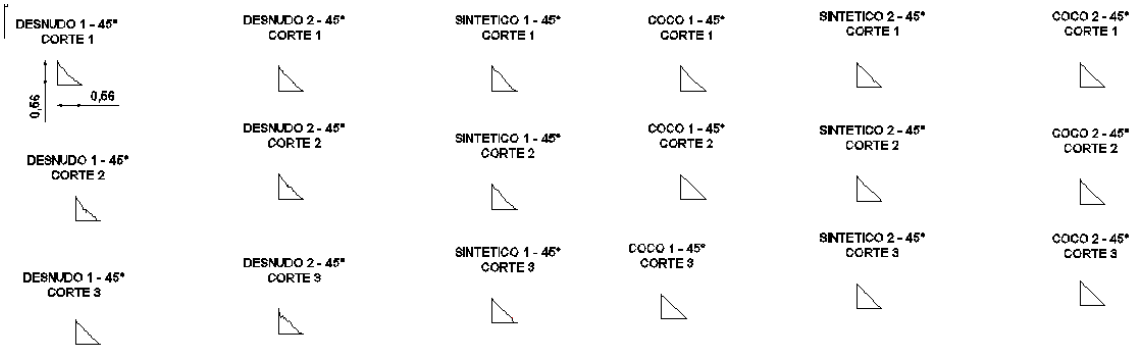
13.7. Resultados del programa OPTUM G-2



Anexo 134. Perfiles en base a la topografía realizada en cada muestra en extensión DXF.
Fuente: Elaboración Propia



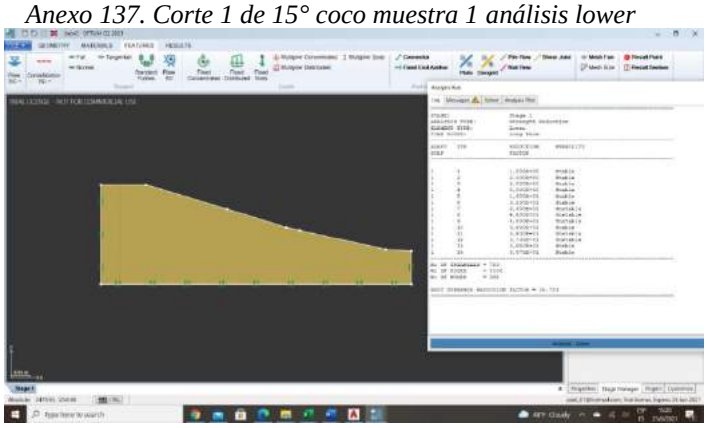
Anexo 135. Perfiles en base a la topografía realizada en cada muestra en extensión DXF.
Fuente: Elaboración Propia

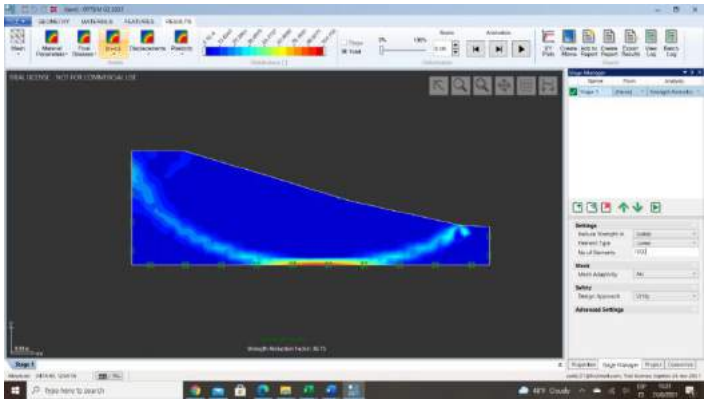


Anexo 136. Perfiles en base a la topografía realizada en cada muestra en extensión DXF.
Fuente: Elaboración Propia

13.7.1. Talud de 15°

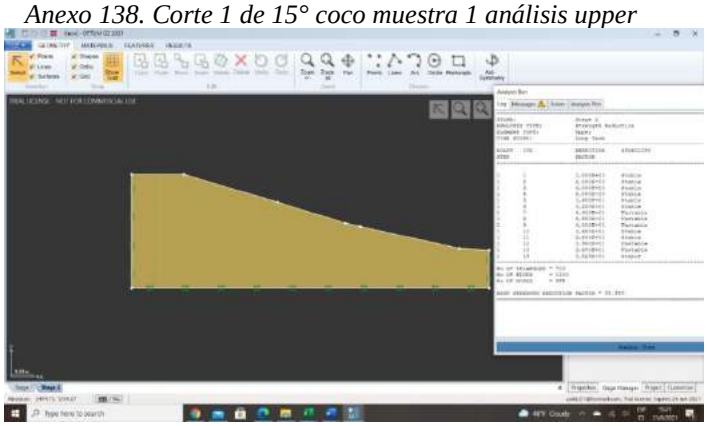
Anexo 137. Corte 1 de 15° coco muestra 1 análisis lower

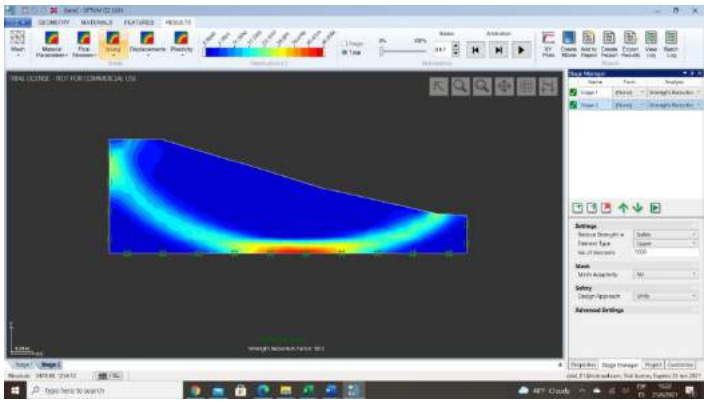




Fuente: Elaboración Propia

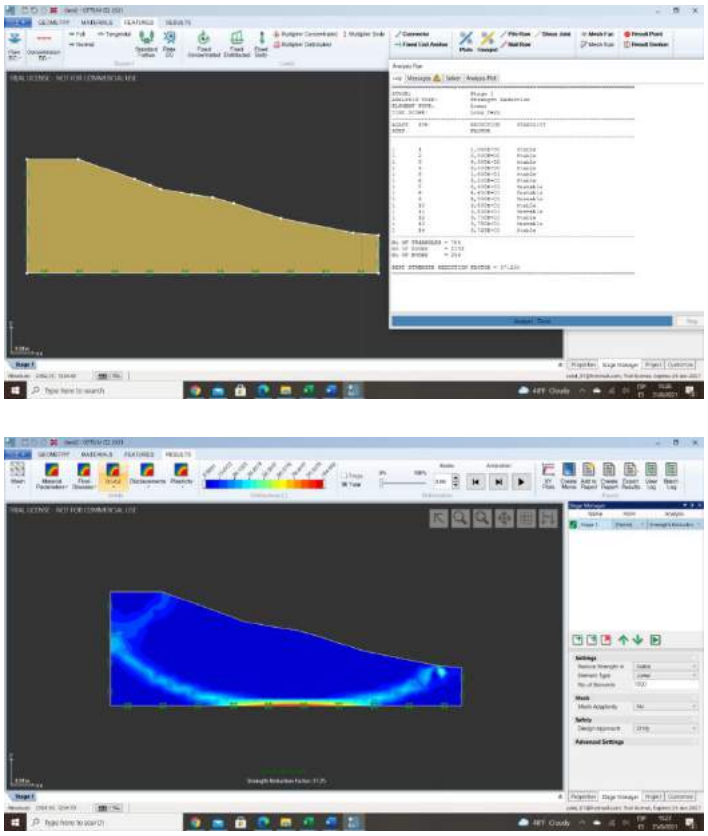
Anexo 138. Corte 1 de 15° coco muestra 1 análisis upper





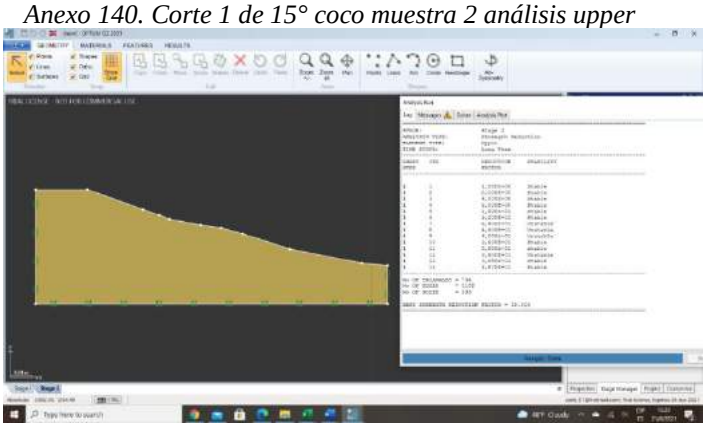
Fuente: Elaboración Propia

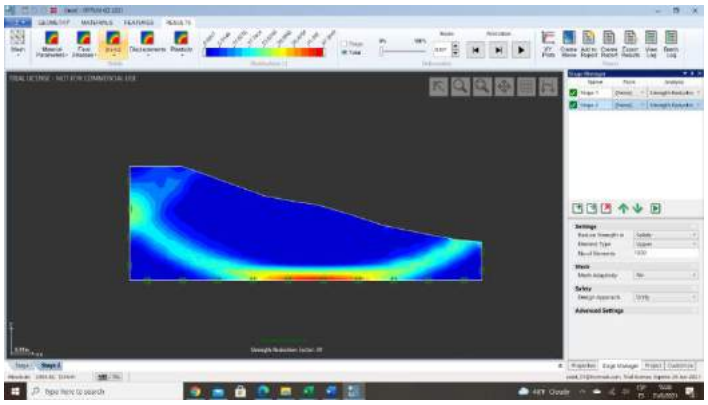
Anexo 139. Corte 1 de 15° coco muestra 2 análisis lower



Fuente: Elaboración Propia

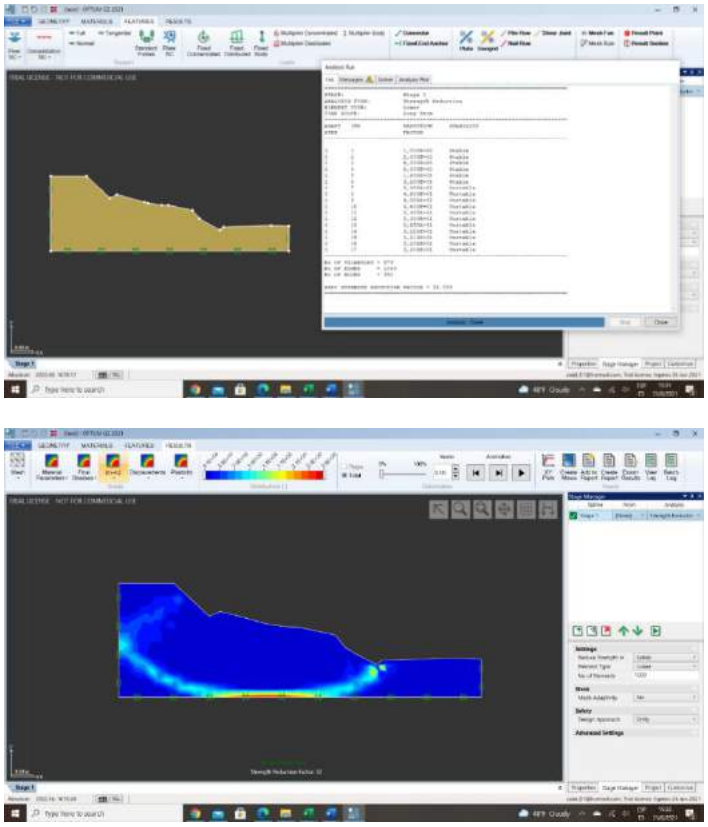
Anexo 140. Corte 1 de 15° coco muestra 2 análisis upper





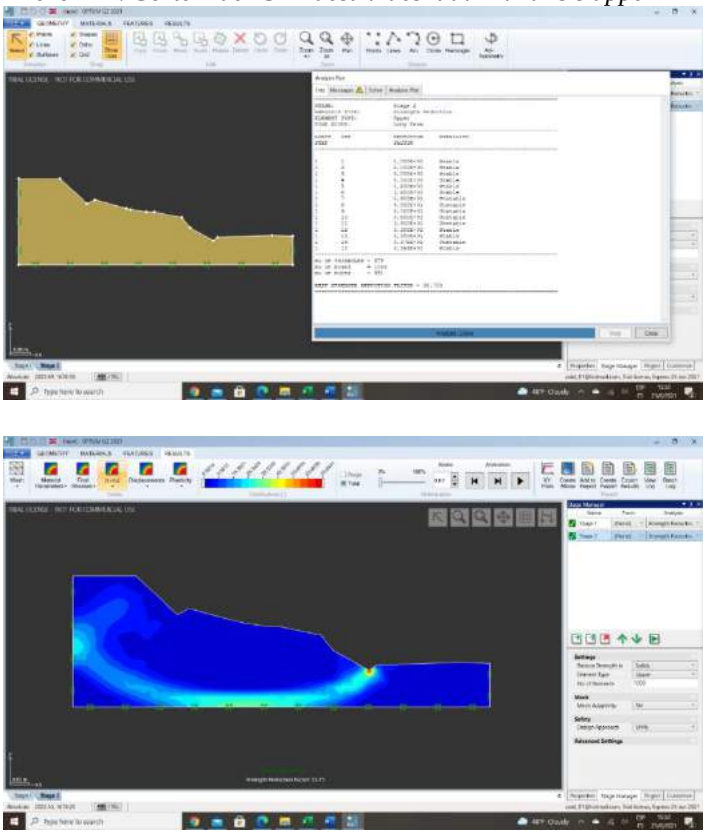
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 141. Corte 1 de 15° muestra desnuda 1 análisis lower



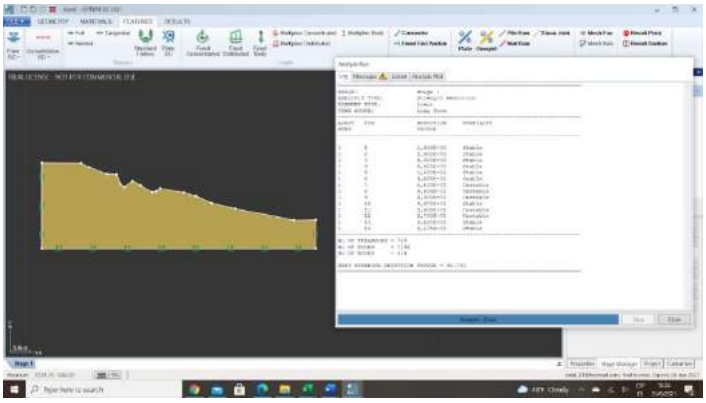
Fuente: Elaboración Propia

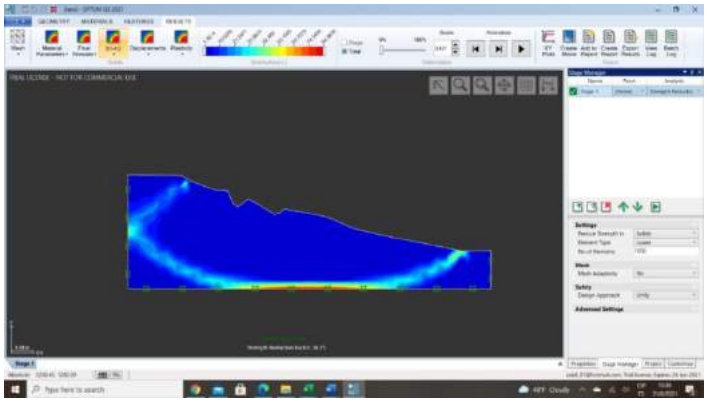
Anexo 142. Corte 1 de 15° muestra desnuda 1 análisis upper



Fuente: Elaboración Propia

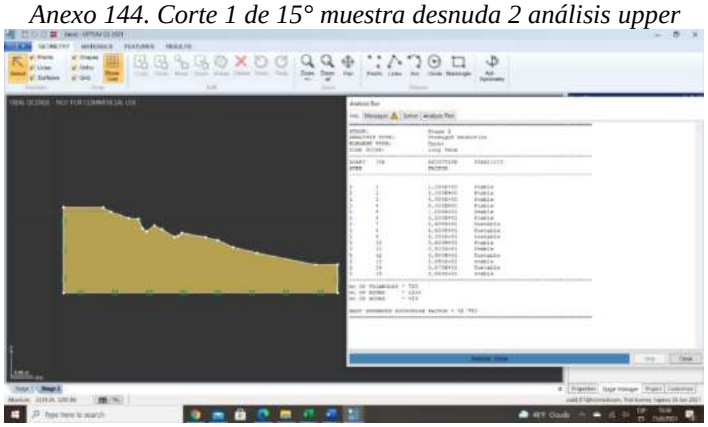
Anexo 143. Corte 1 de 15° muestra desnuda 2 análisis lower

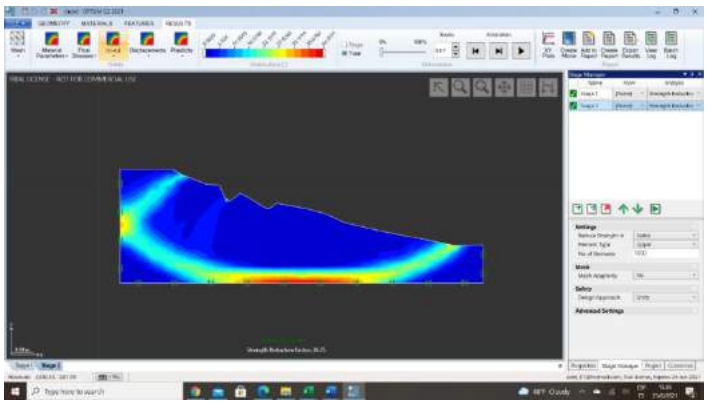




Fuente: Elaboración Propia

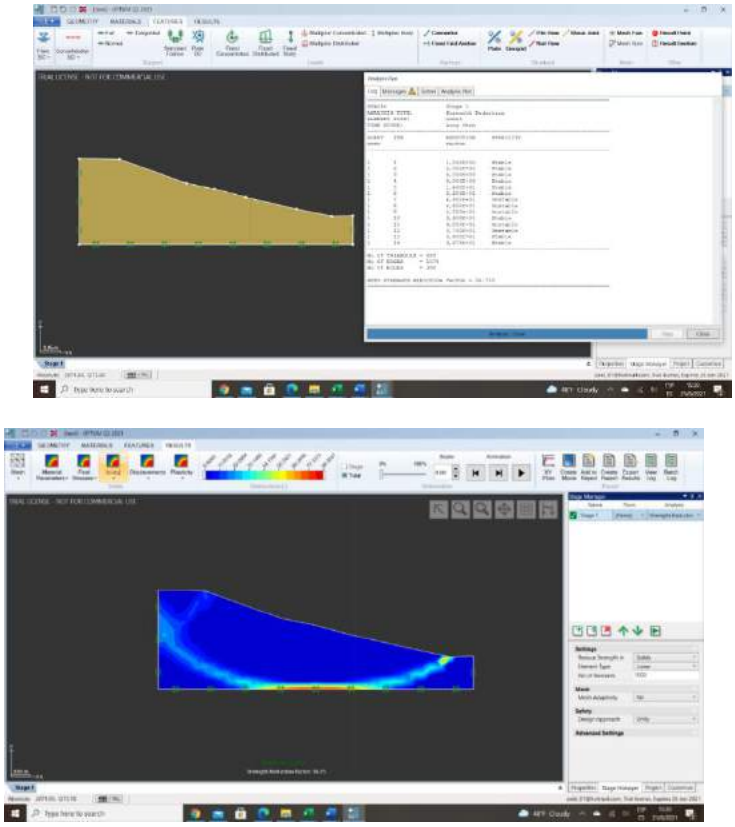
Anexo 144. Corte 1 de 15° muestra desnuda 2 análisis upper





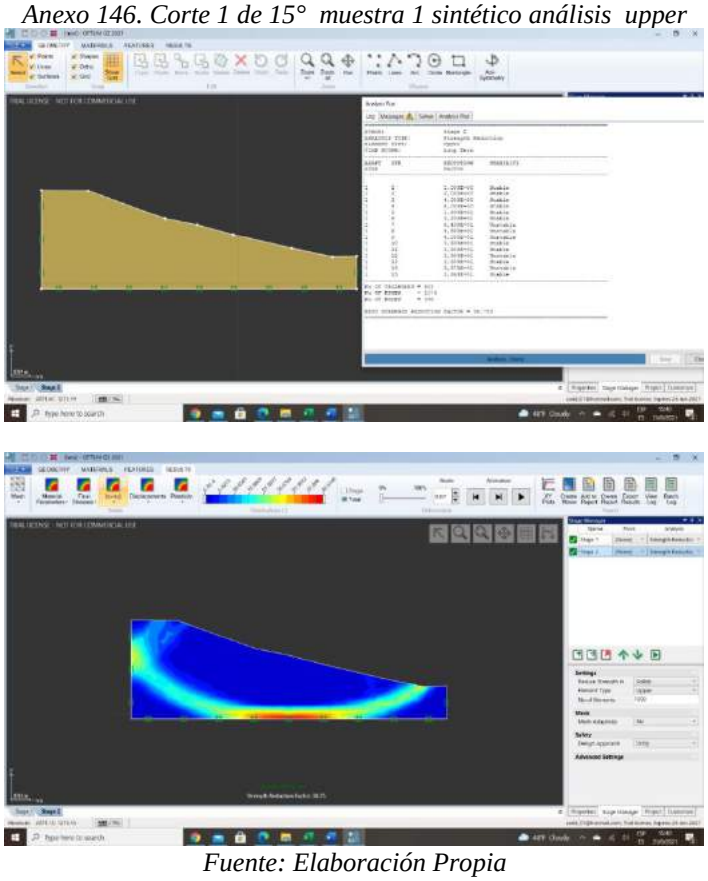
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 145. Corte 1 de 15° muestra 1 sintético análisis lower



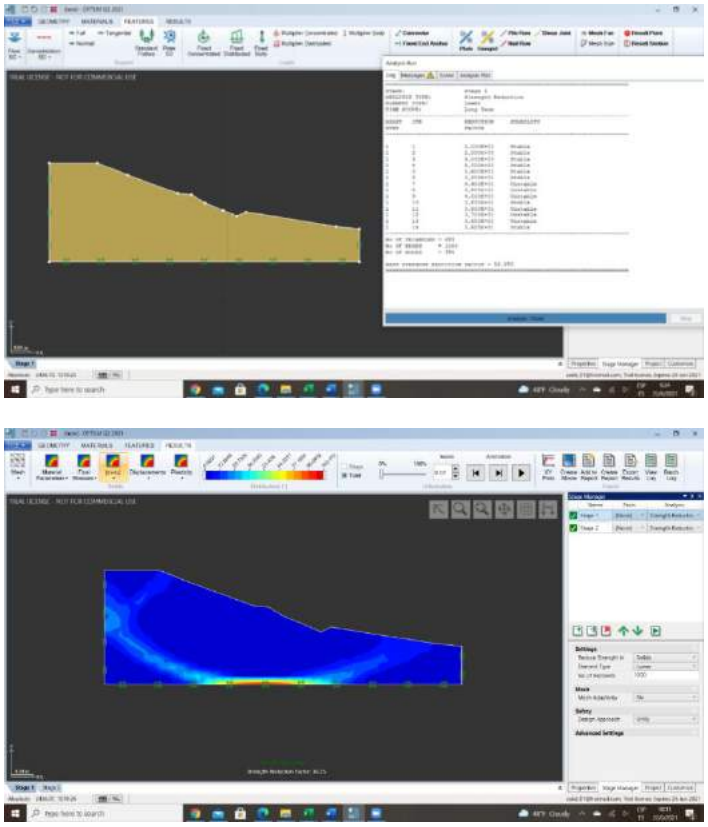
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 146. Corte 1 de 15° muestra 1 sintético análisis upper



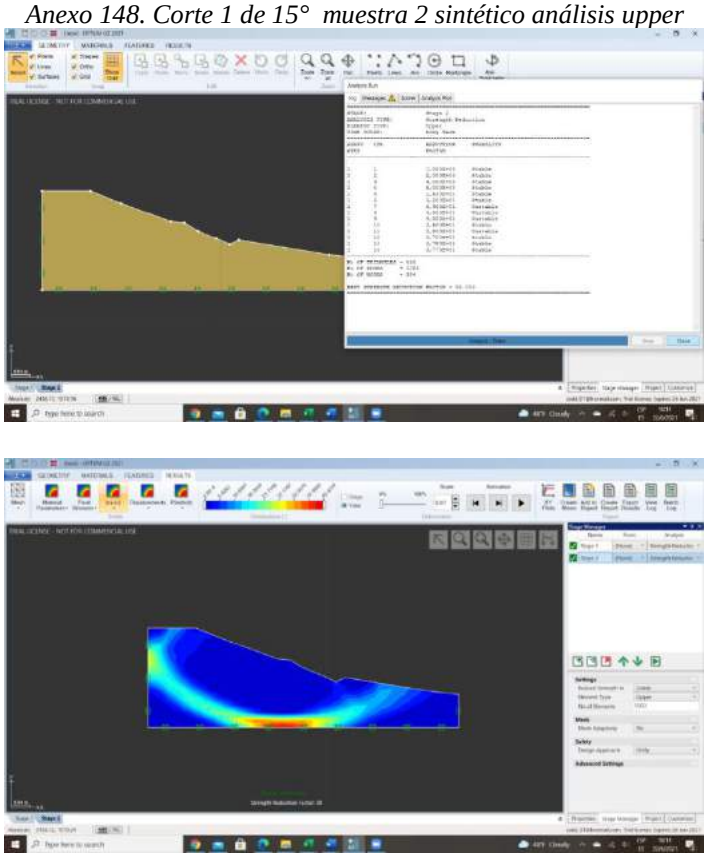
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 147. Corte 1 de 15° muestra 2 sintéticos análisis lower



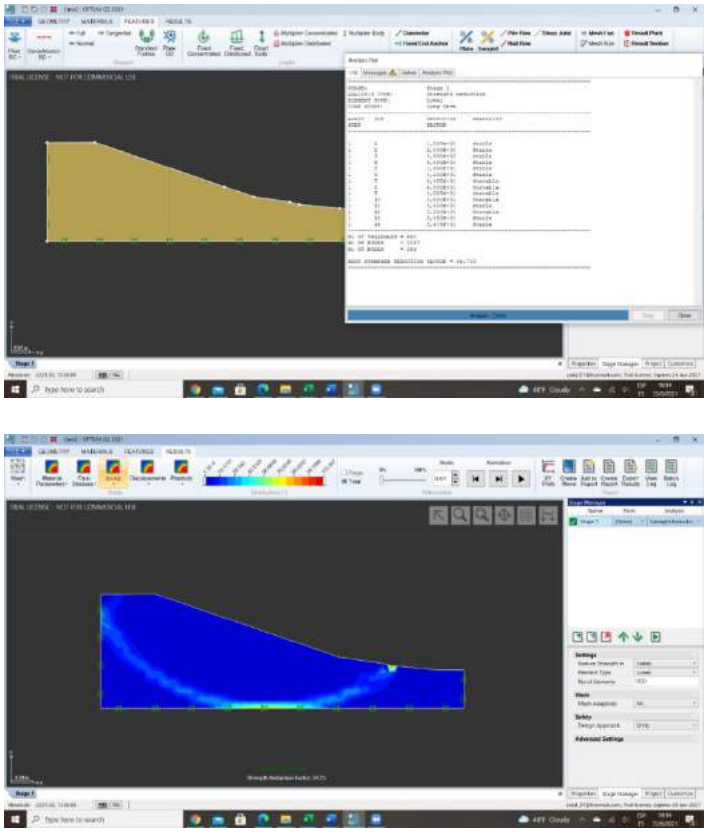
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 148. Corte 1 de 15° muestra 2 sintético análisis upper



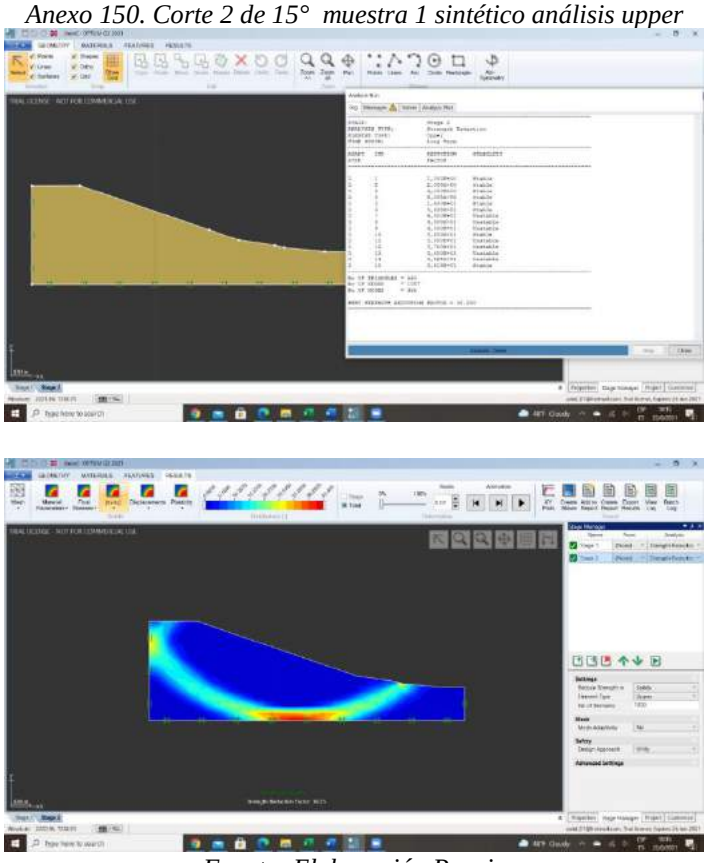
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 149. Corte 2 de 15° muestra 1 sintético análisis lower



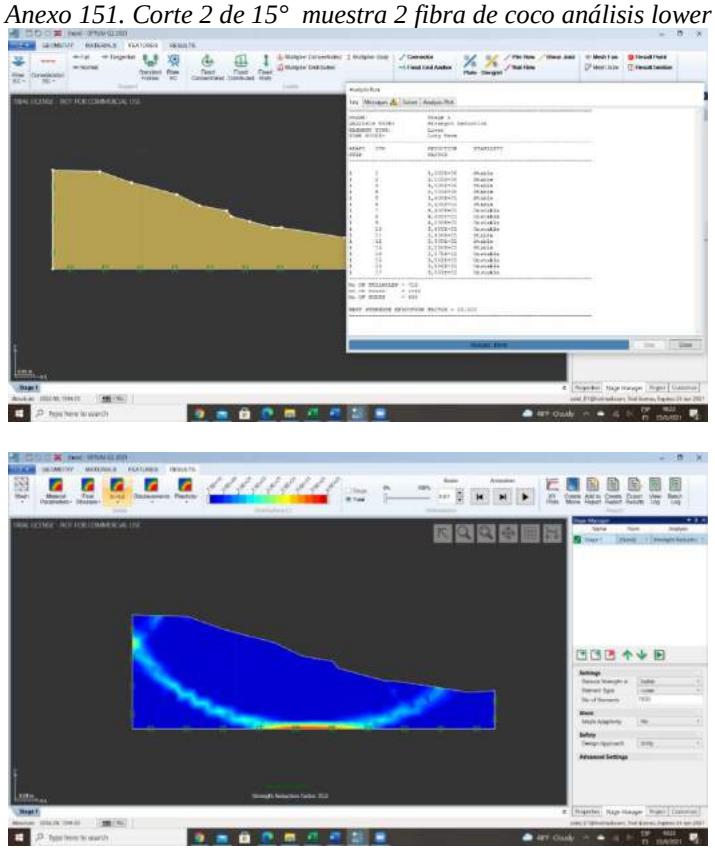
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 150. Corte 2 de 15° muestra 1 sintético análisis upper



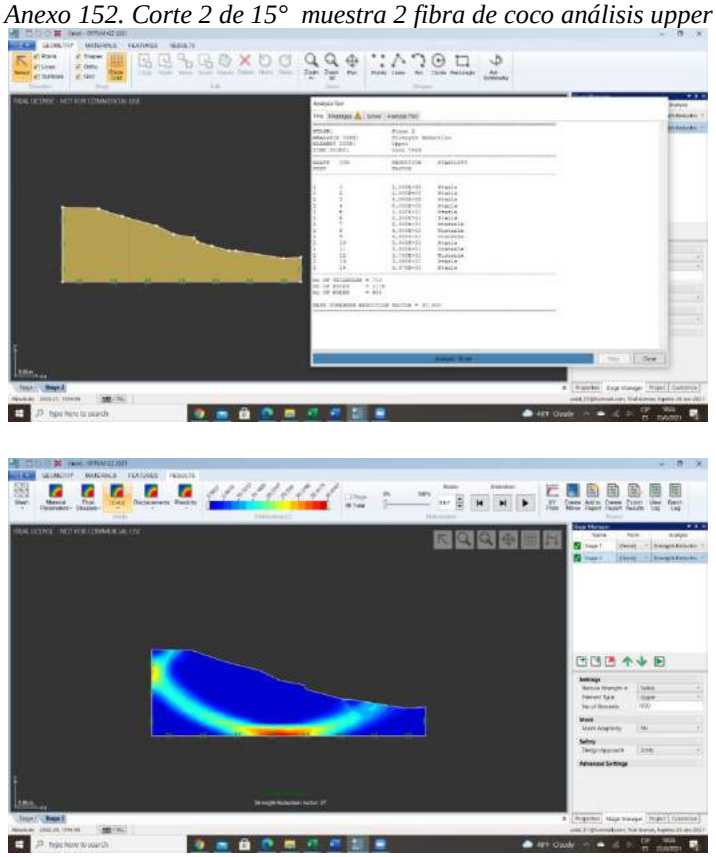
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 151. Corte 2 de 15° muestra 2 fibra de coco análisis lower



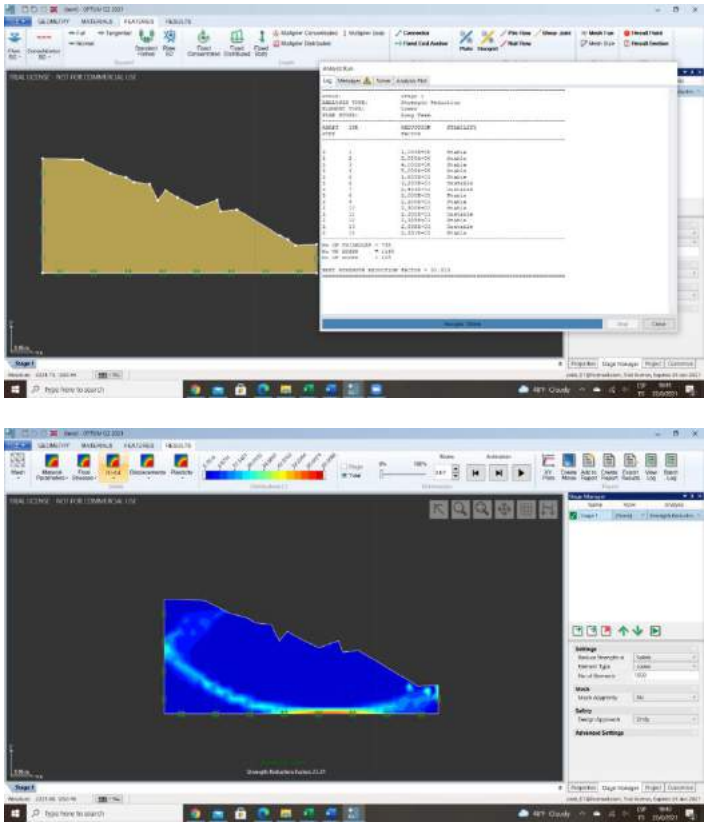
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 152. Corte 2 de 15° muestra 2 fibra de coco análisis upper



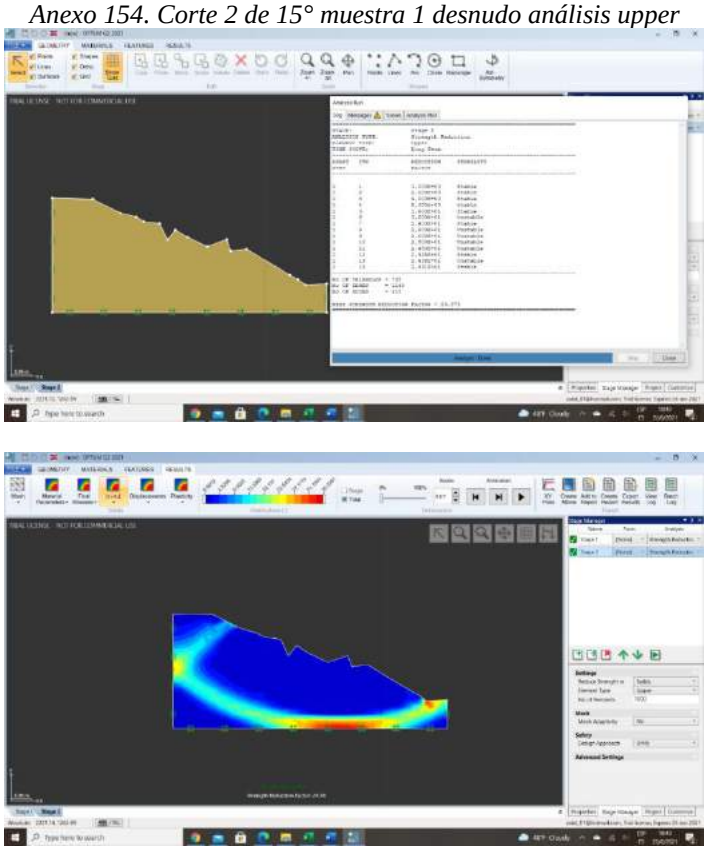
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 153. Corte 2 de 15° muestra 1 desnudo análisis lower



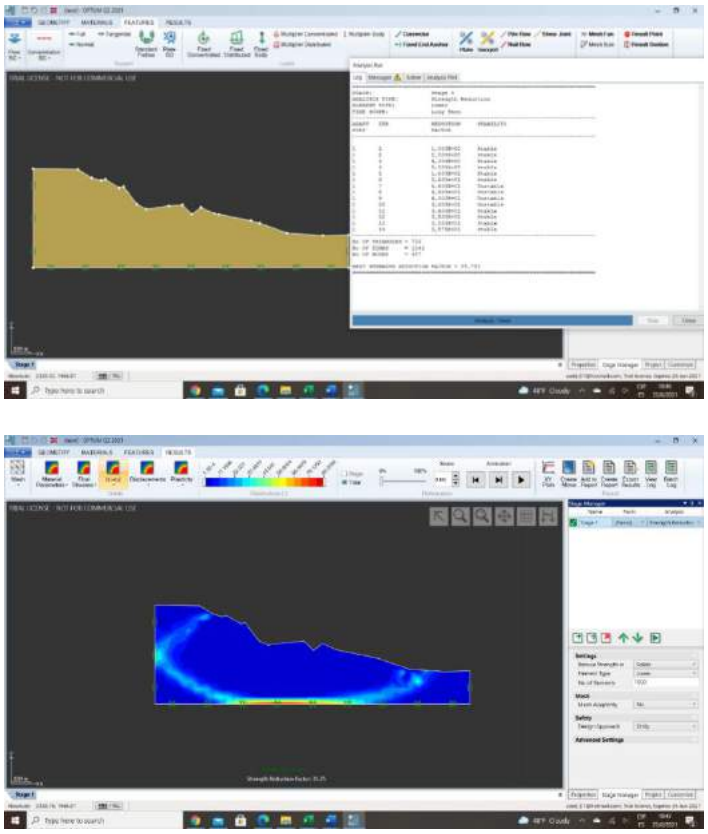
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 154. Corte 2 de 15° muestra 1 desnudo análisis upper



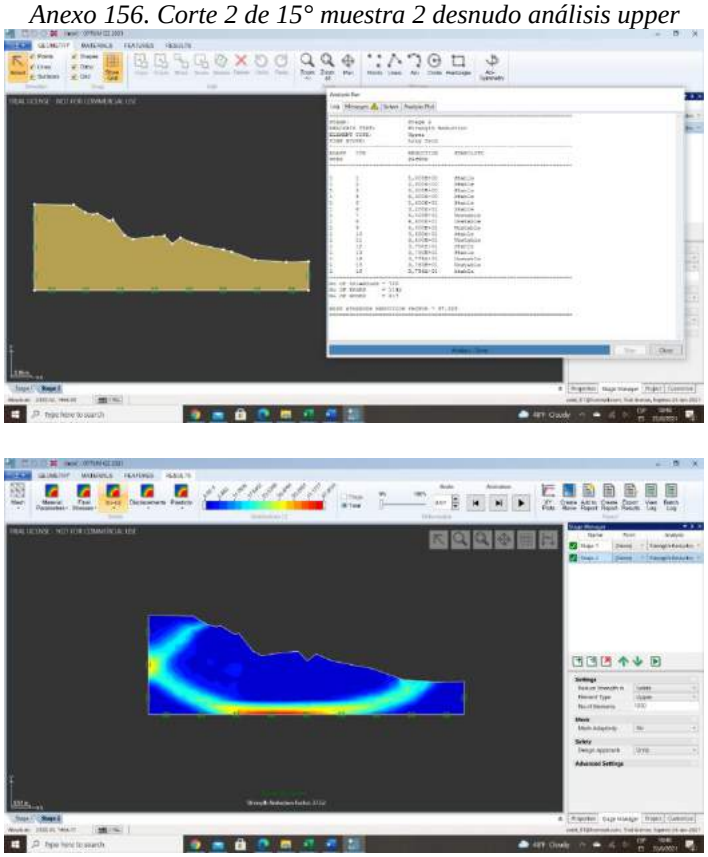
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 155. Corte 2 de 15° muestra 2 desnudo análisis lower



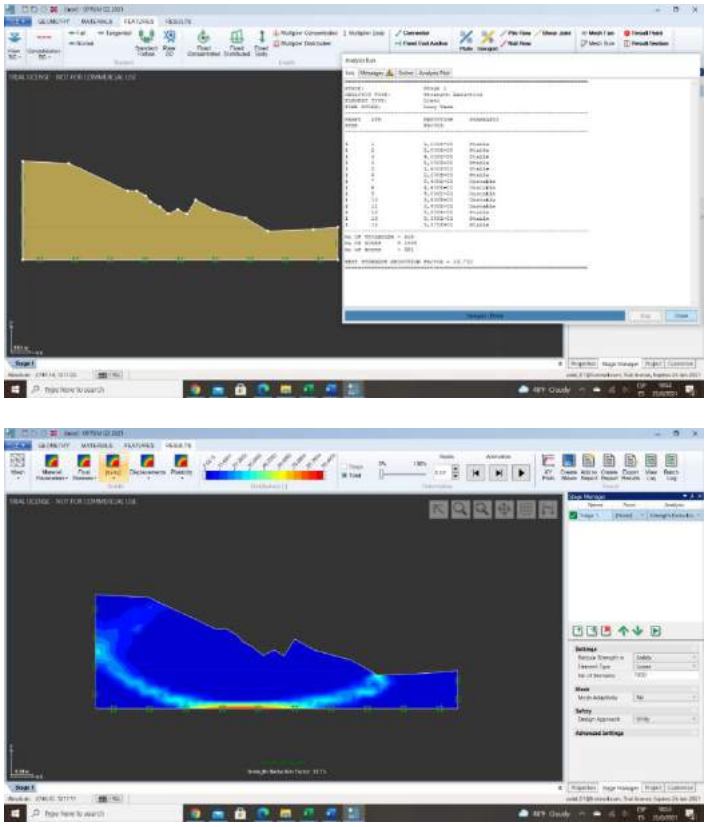
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 156. Corte 2 de 15° muestra 2 desnudo análisis upper



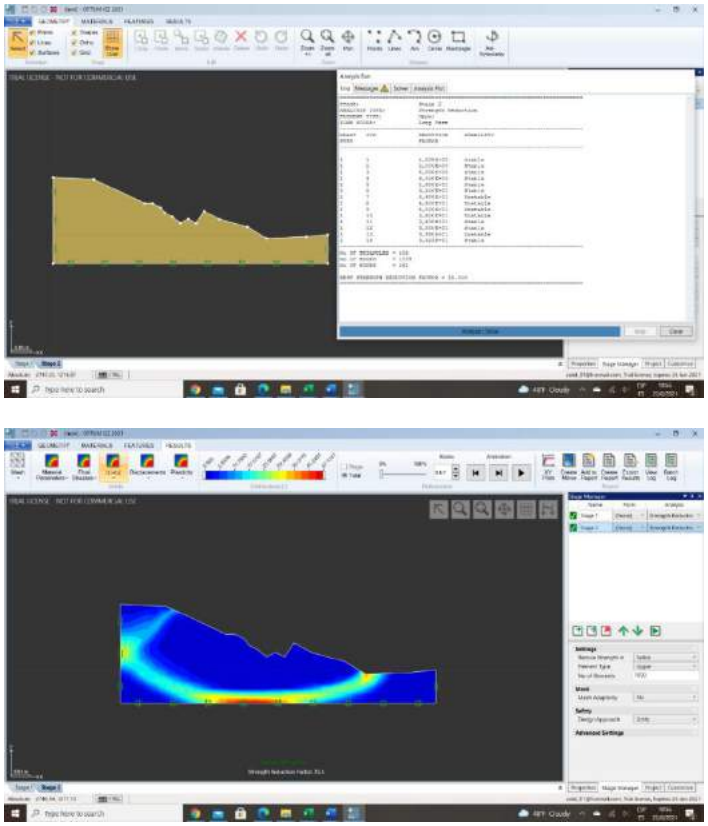
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 157. Corte 2 de 15° muestra 1 sintético análisis lower



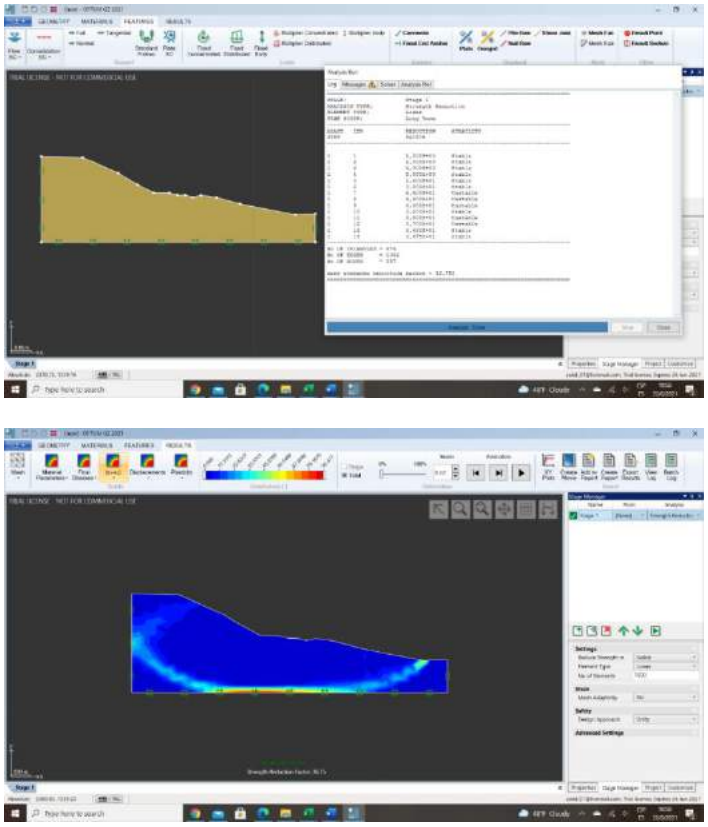
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 158. Corte 2 de 15° muestra 1 sintético análisis upper



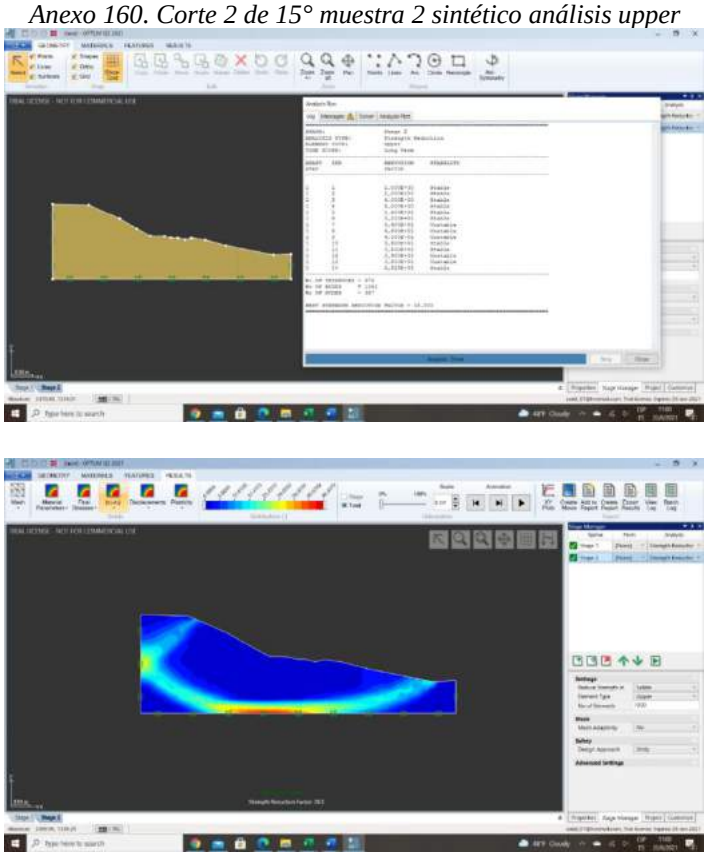
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 159. Corte 2 de 15° muestra 2 sintético análisis lower



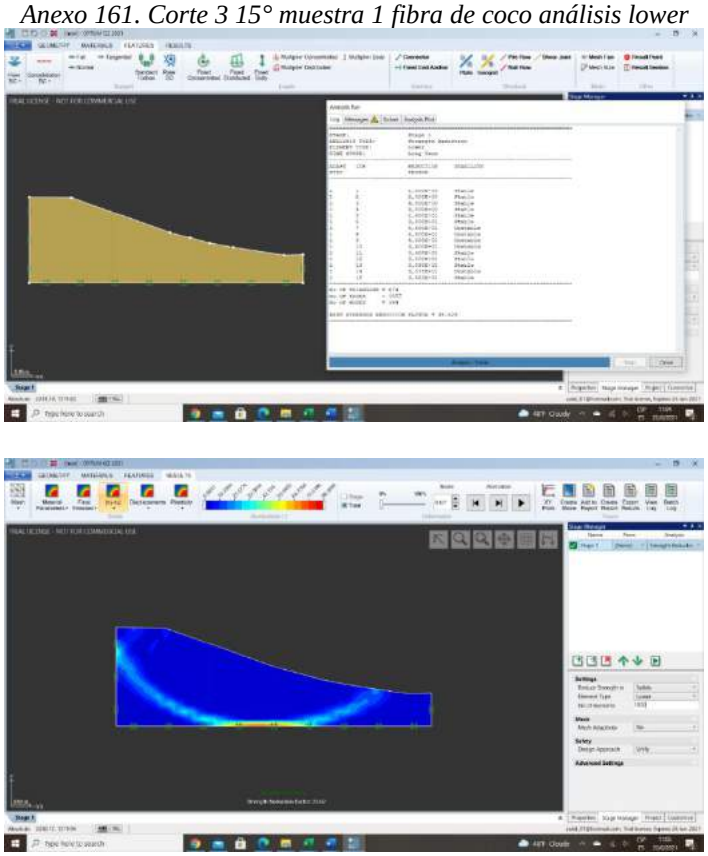
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 160. Corte 2 de 15° muestra 2 sintético análisis upper



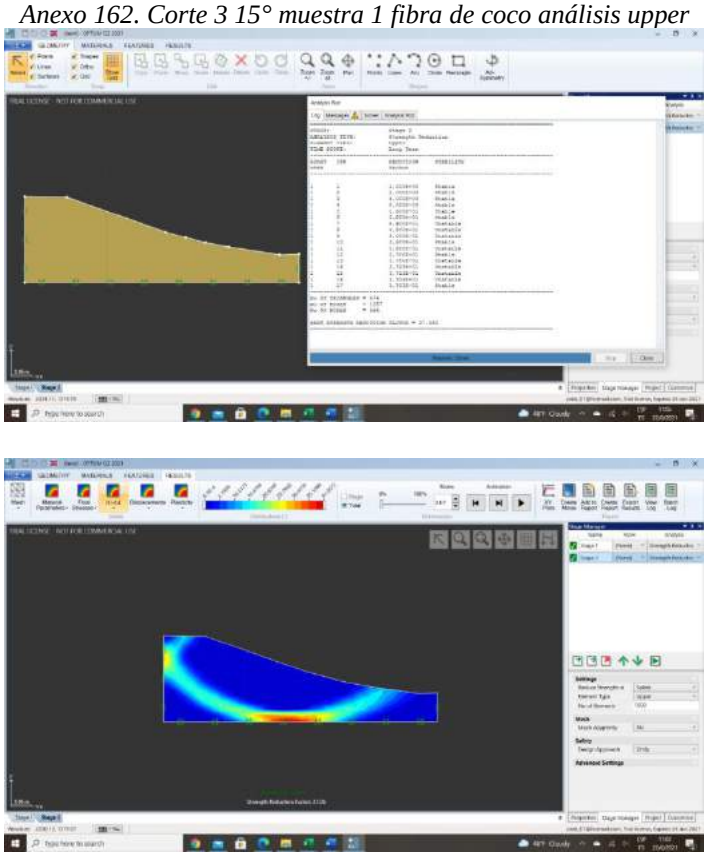
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 161. Corte 3 15° muestra 1 fibra de coco análisis lower



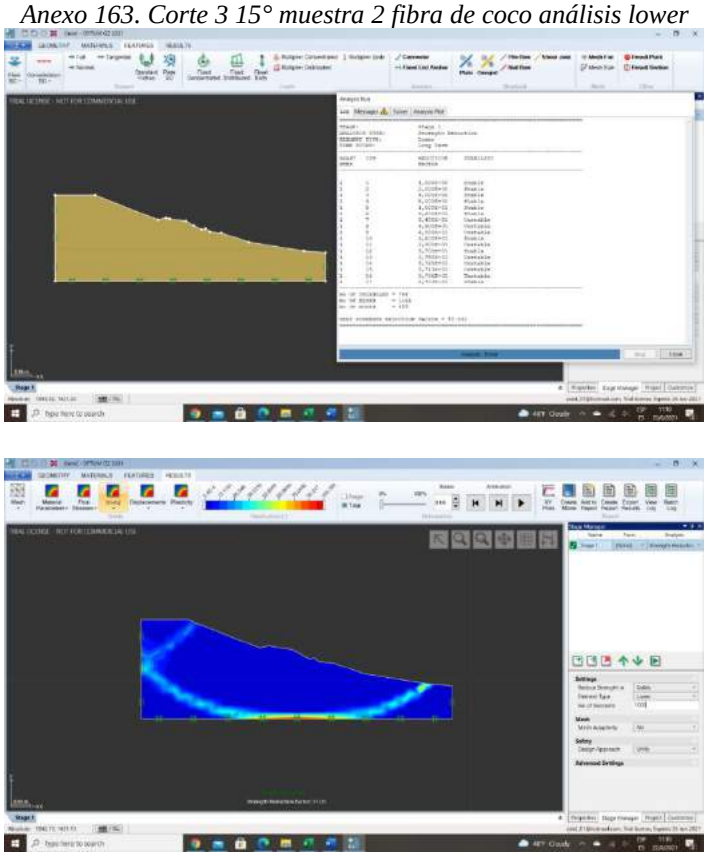
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 162. Corte 3 15° muestra 1 fibra de coco análisis upper



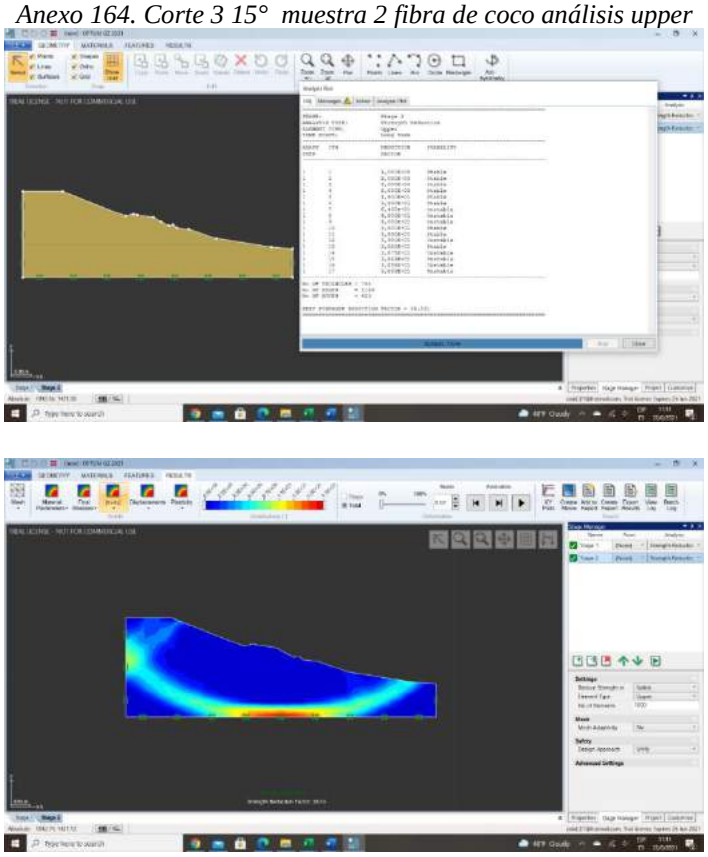
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 163. Corte 3 15° muestra 2 fibra de coco análisis lower



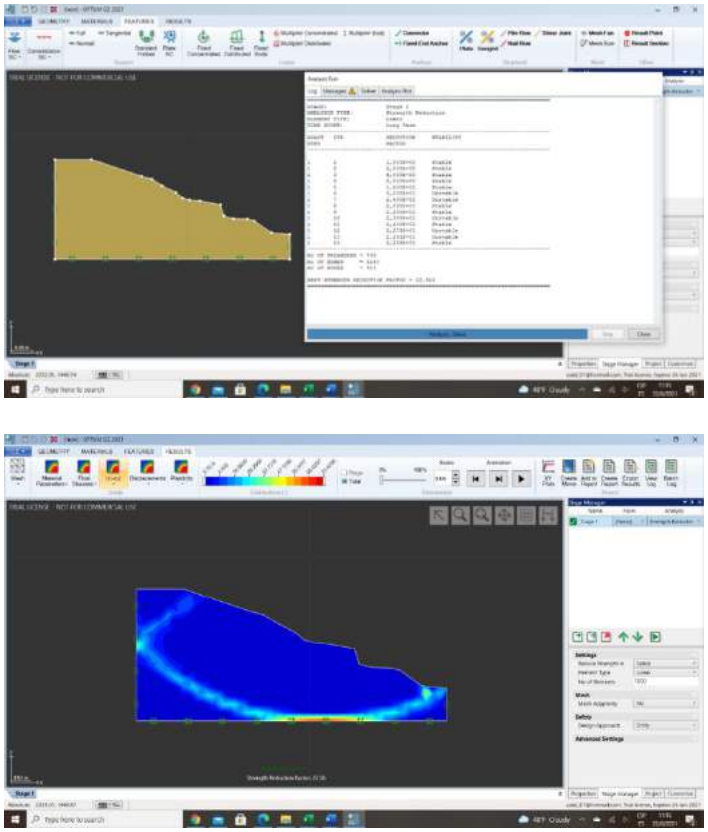
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 164. Corte 3 15° muestra 2 fibra de coco análisis upper



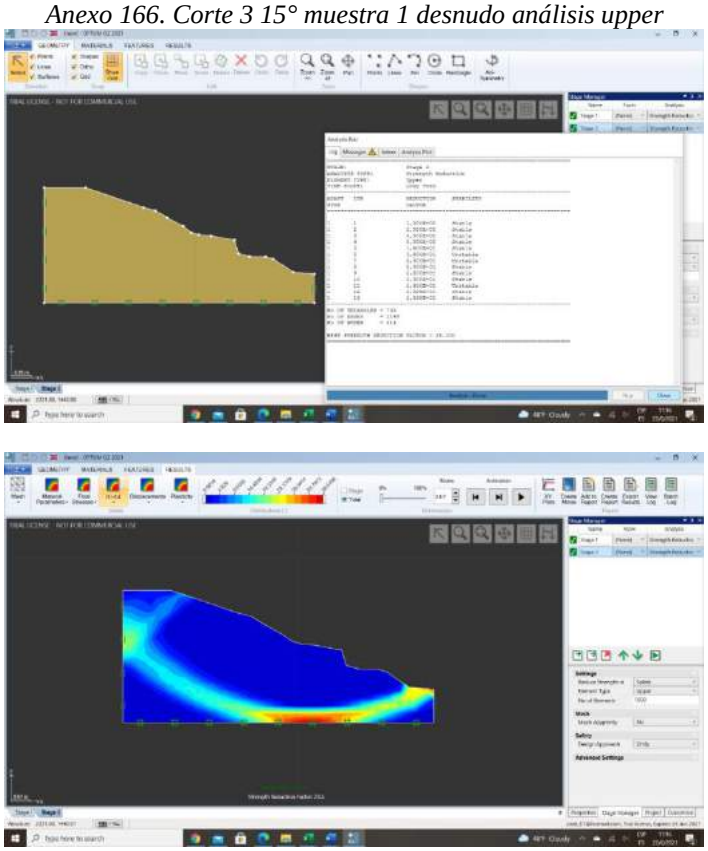
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 165. Corte 3 15° muestra 1 desnudo análisis lower



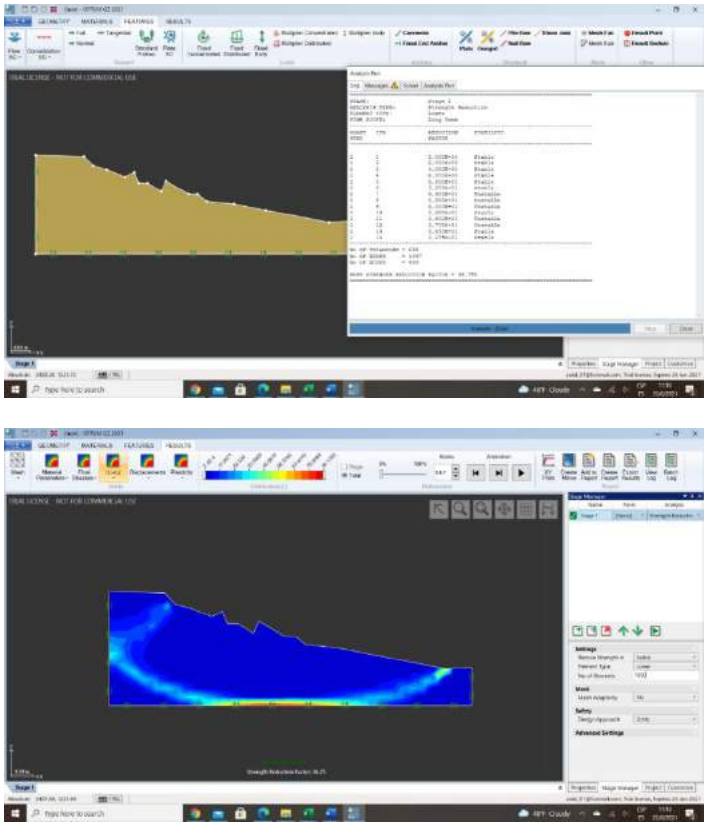
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 166. Corte 3 15° muestra 1 desnudo análisis upper



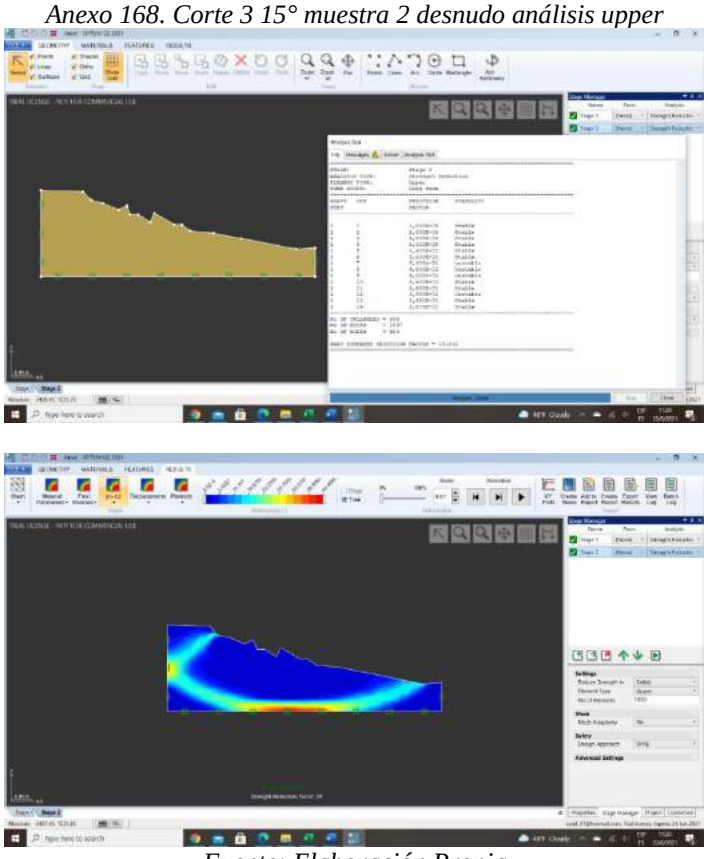
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 167. Corte 3 15° muestra 2 desnudo análisis lower



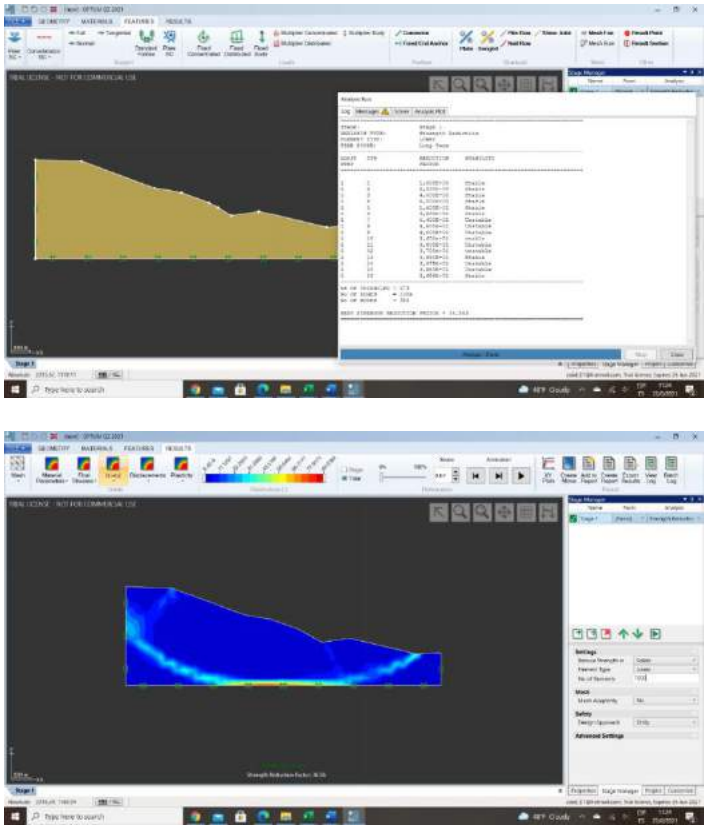
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 168. Corte 3 15° muestra 2 desnudo análisis upper



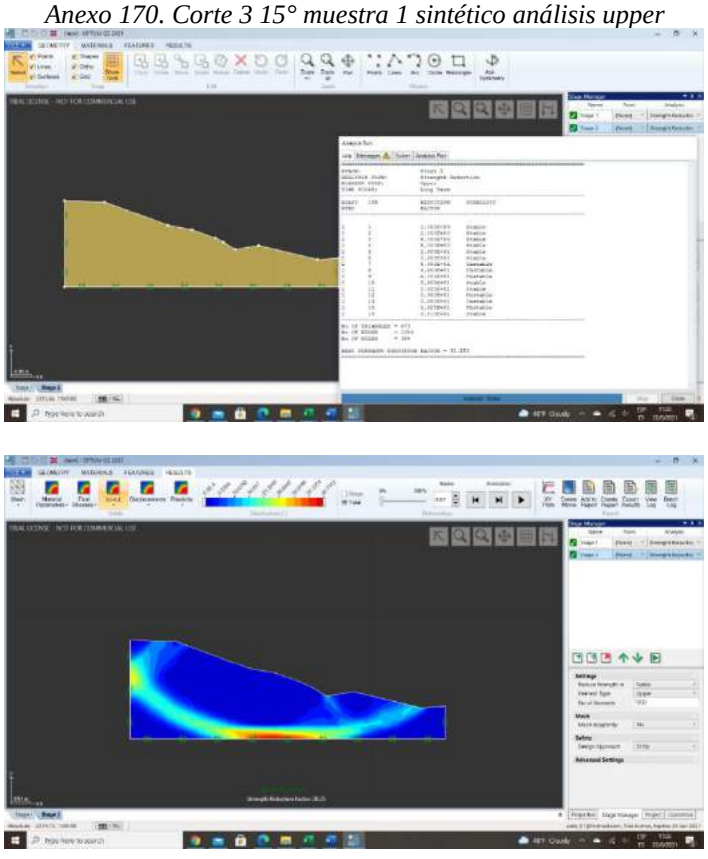
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 169. Corte 3 15° muestra 1 sintético análisis lower



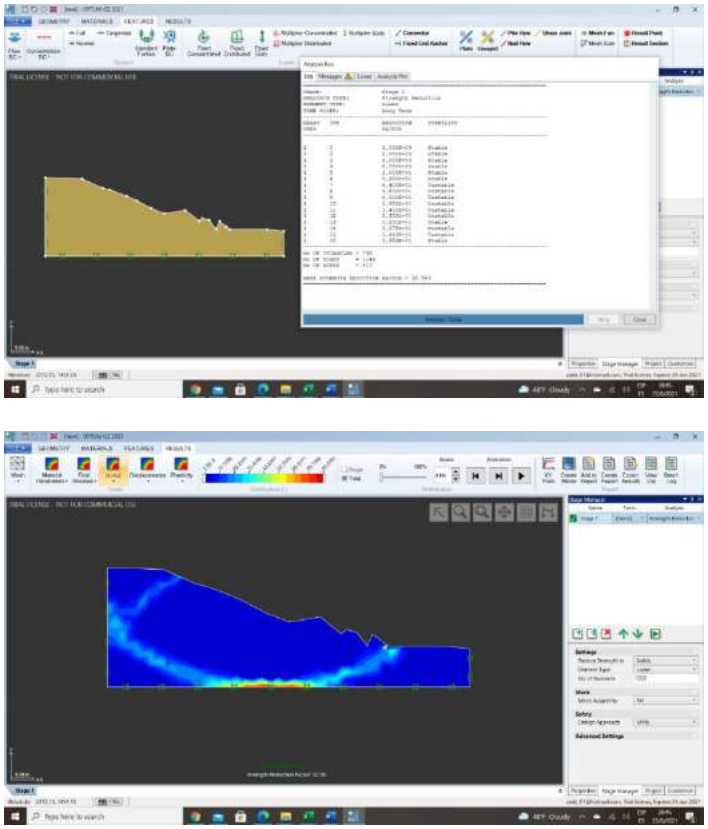
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 170. Corte 3 15° muestra 1 sintético análisis upper



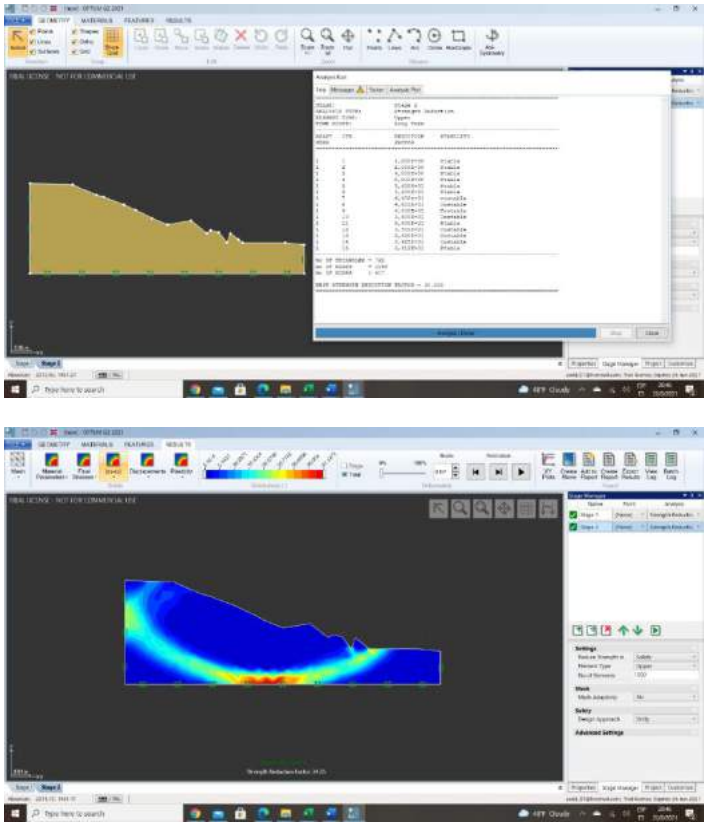
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 171. Corte 3 15° muestra 2 sintético análisis lower



Fuente: Elaboración Propia

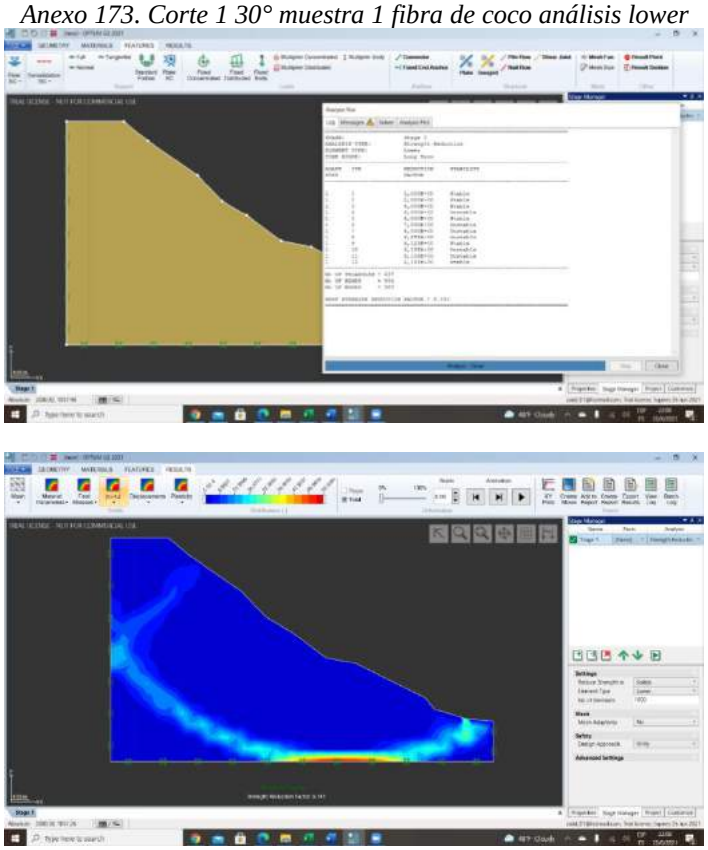
Anexo 172. Corte 3 15° muestra 2 sintético análisis upper



Anexo 209. Elaboración Propia

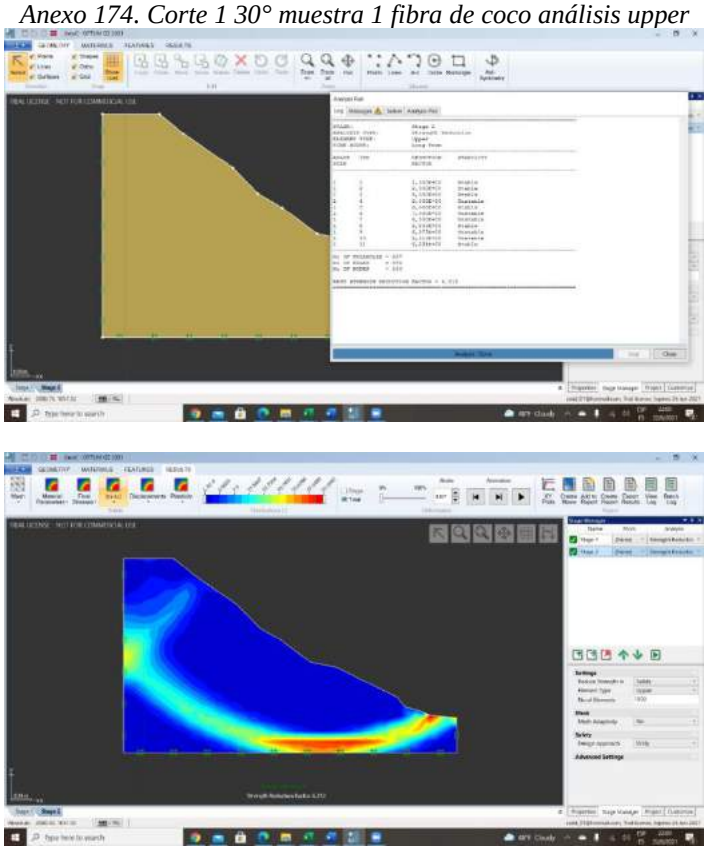
13.7.2. Talud de 30°

Anexo 173. Corte 1 30° muestra 1 fibra de coco análisis lower



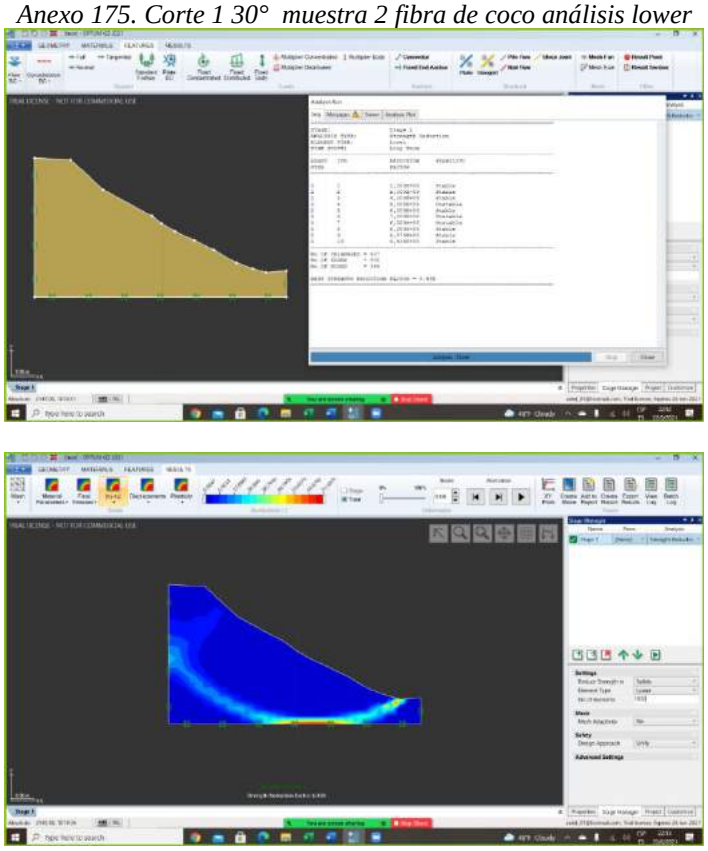
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 174. Corte 1 30° muestra 1 fibra de coco análisis upper



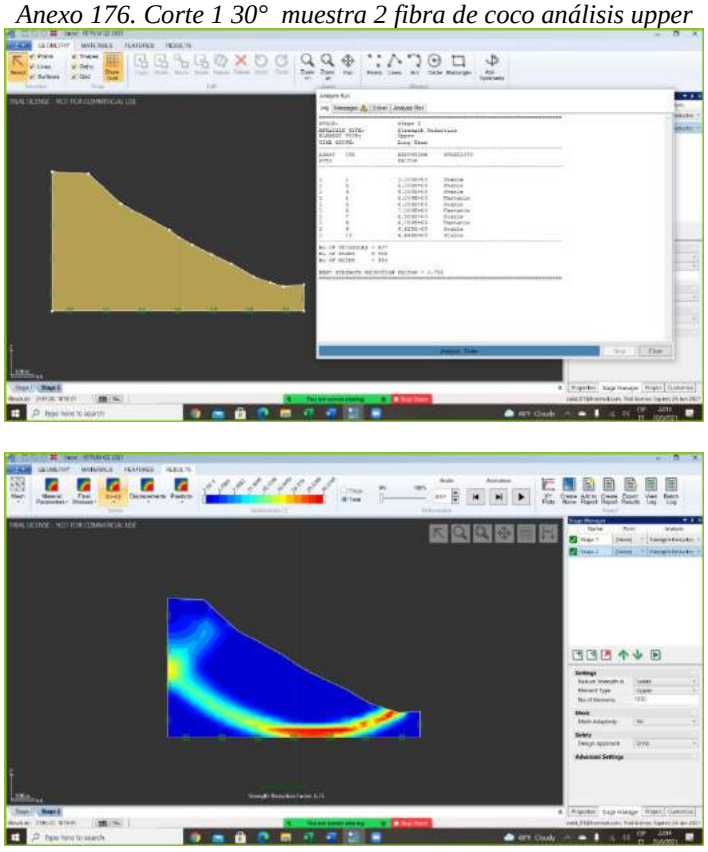
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 175. Corte 1 30° muestra 2 fibra de coco análisis lower



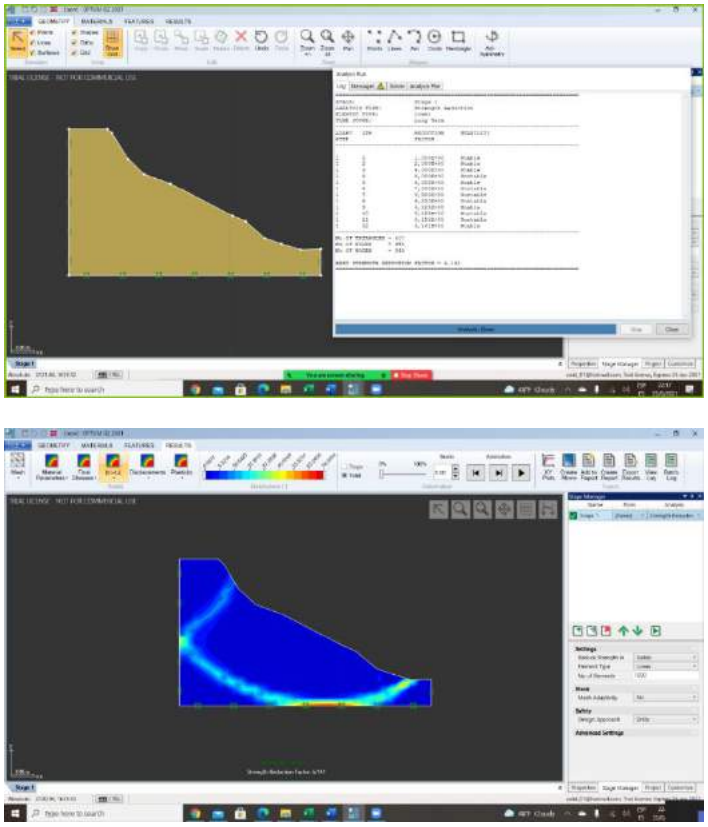
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 176. Corte 1 30° muestra 2 fibra de coco análisis upper



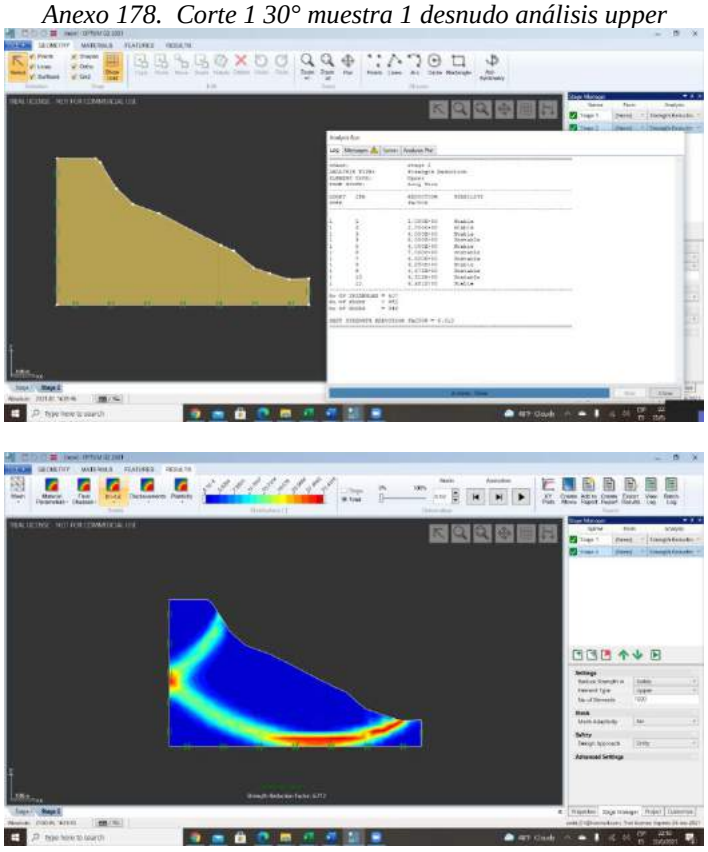
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 177. Corte 1 30° muestra 1 desnudo análisis lower



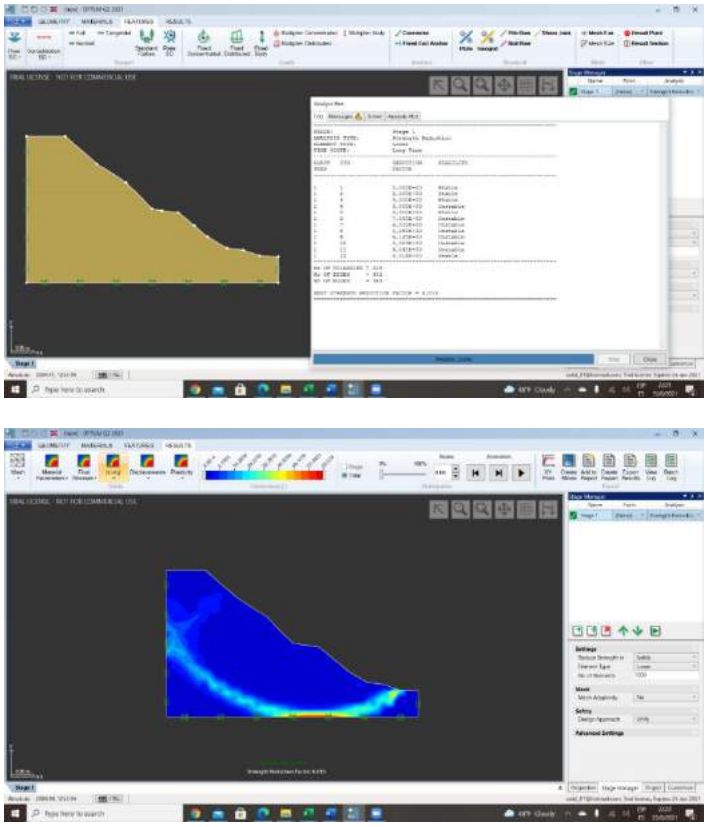
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 178. Corte 1 30° muestra 1 desnudo análisis upper



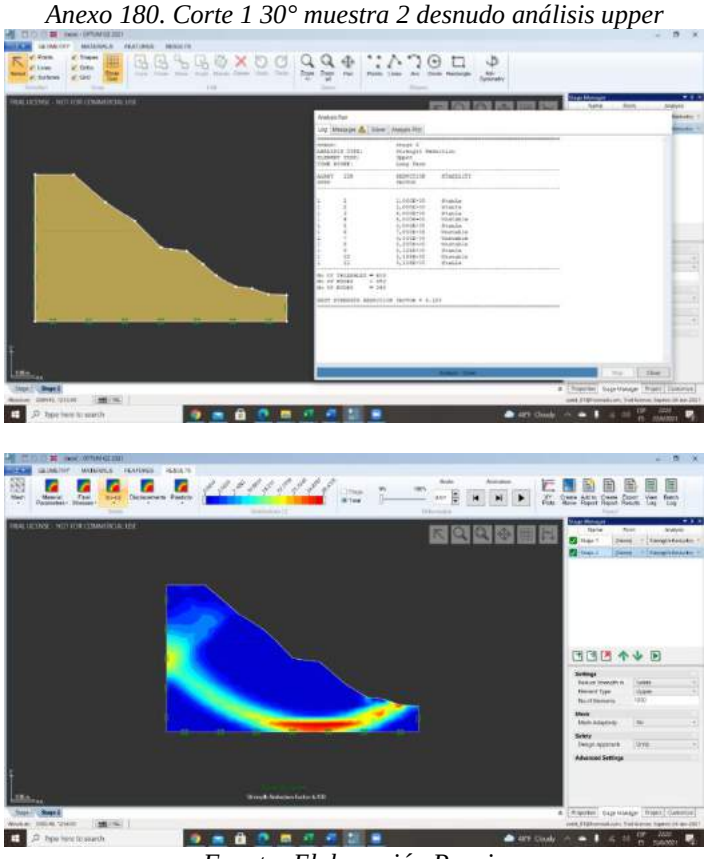
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 179. Corte 1 30° muestra 2 desnudo análisis lower



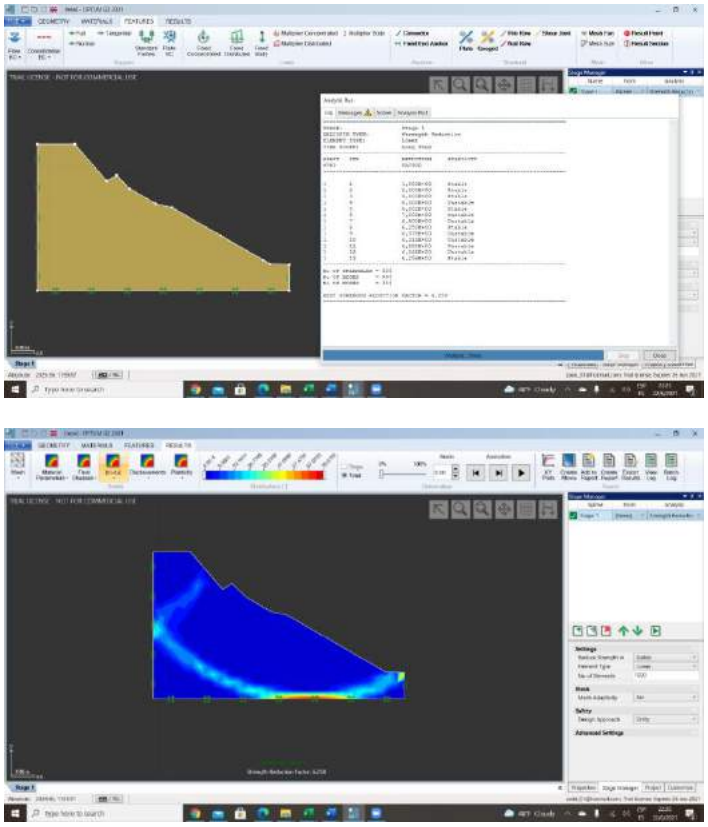
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 180. Corte 1 30° muestra 2 desnudo análisis upper



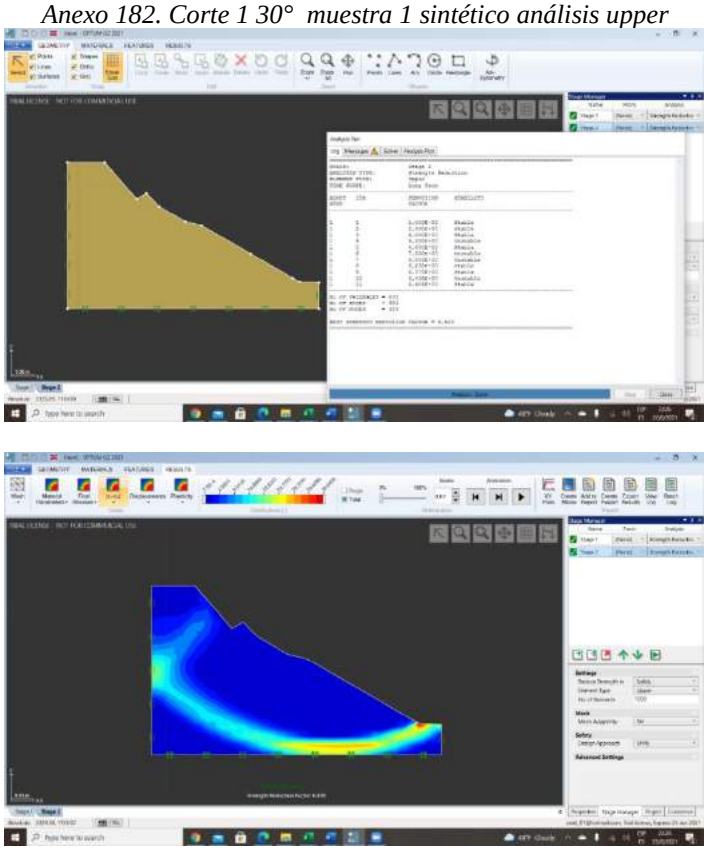
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 181. Corte 1 30° muestra 1 sintético análisis lower



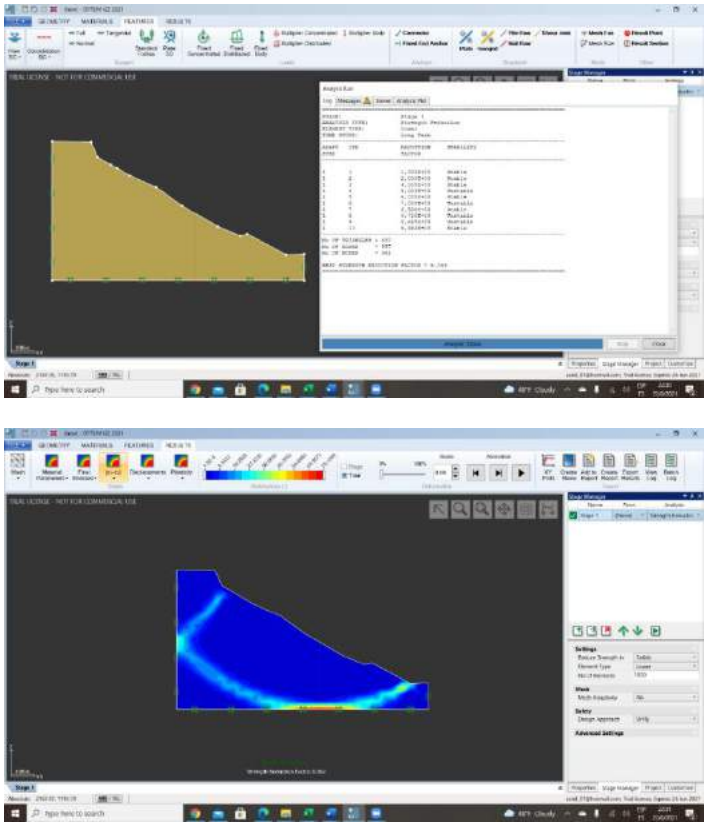
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 182. Corte 1 30° muestra 1 sintético análisis upper



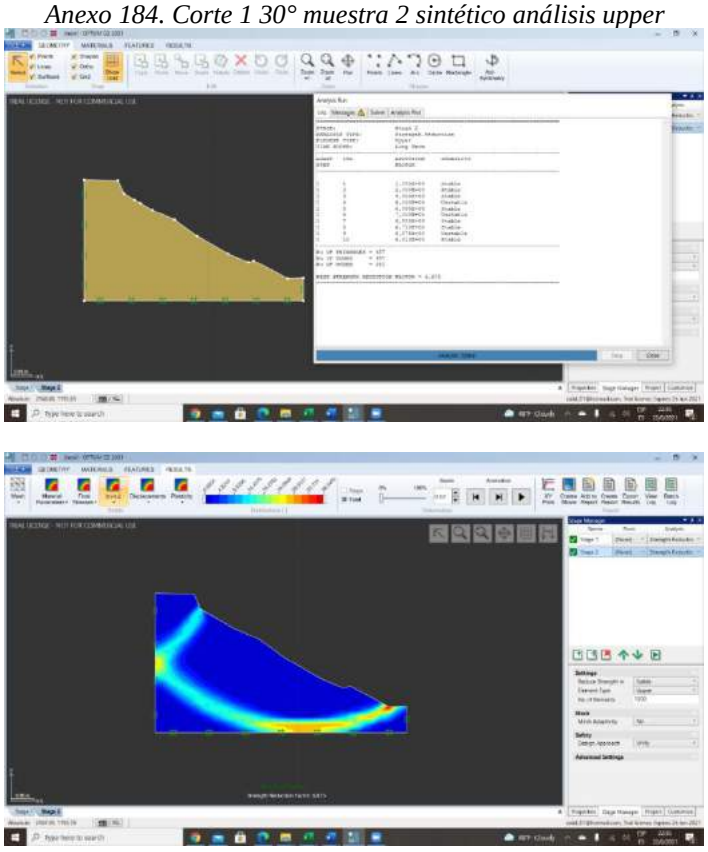
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 183. Corte 1 30° muestra 2 sintético análisis lower



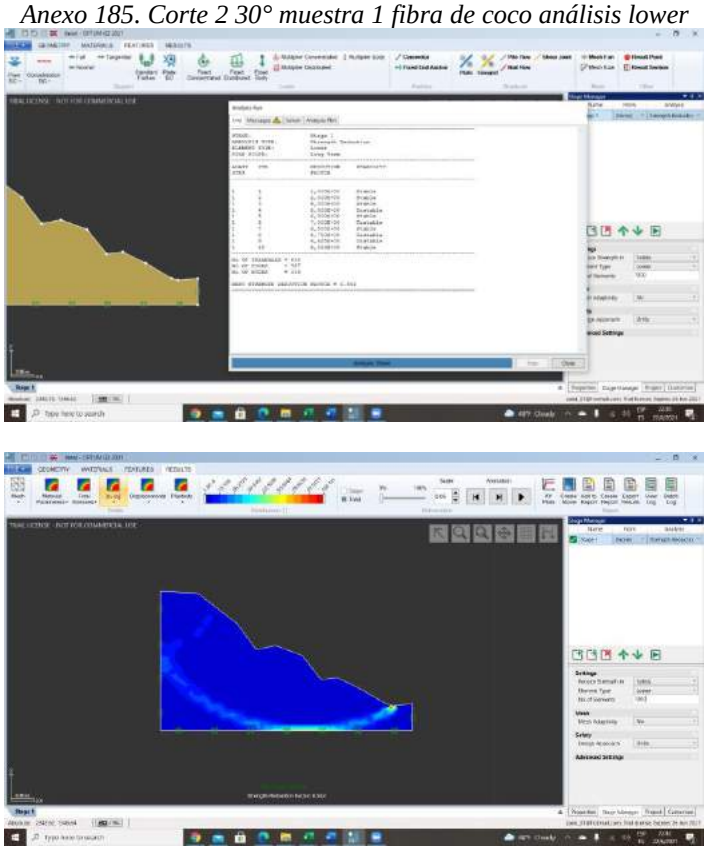
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 184. Corte 1 30° muestra 2 sintético análisis upper



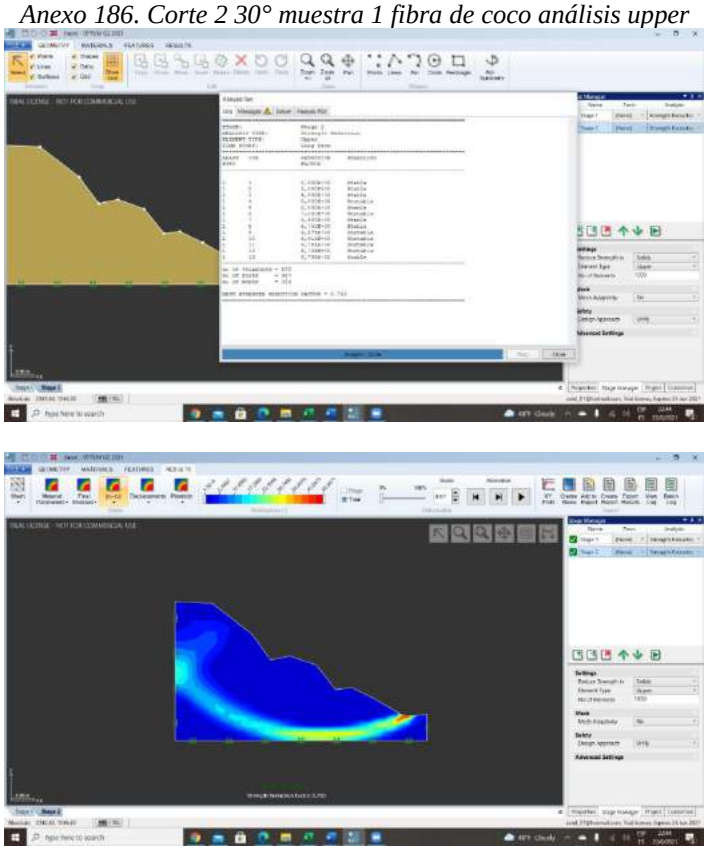
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 185. Corte 2 30° muestra 1 fibra de coco análisis lower



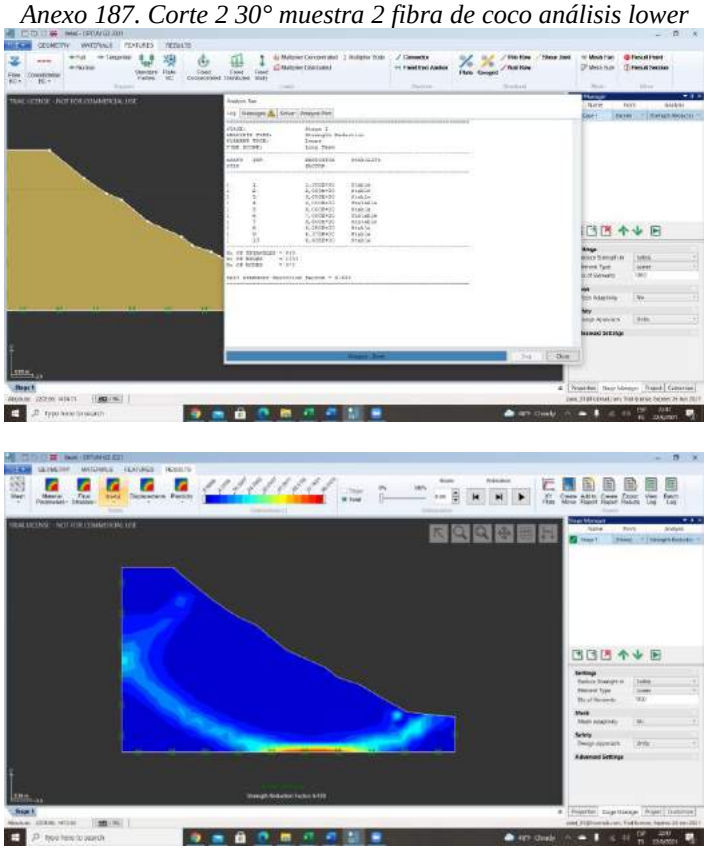
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 186. Corte 2 30° muestra 1 fibra de coco análisis upper



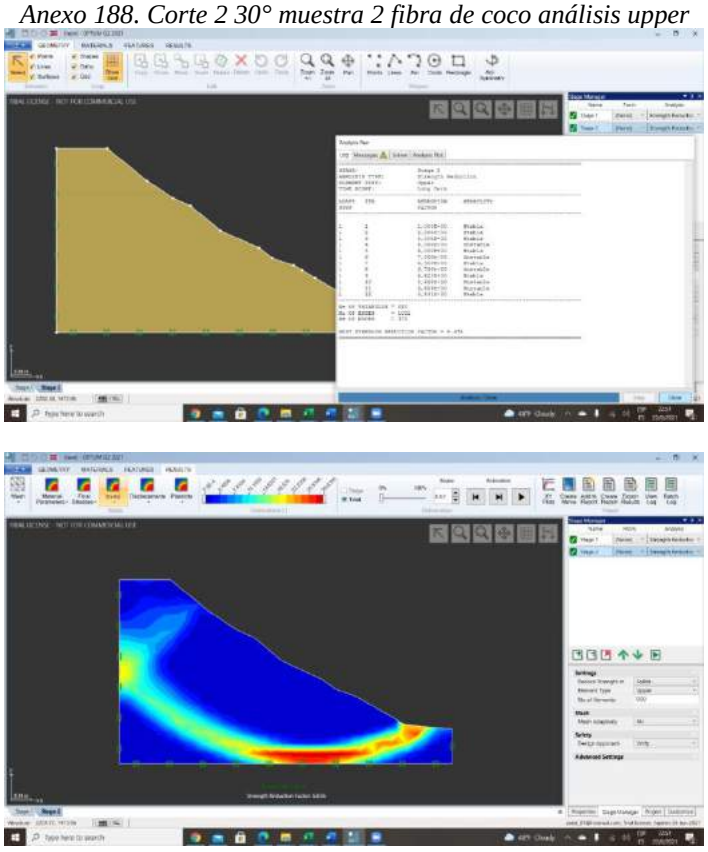
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 187. Corte 2 30° muestra 2 fibra de coco análisis lower



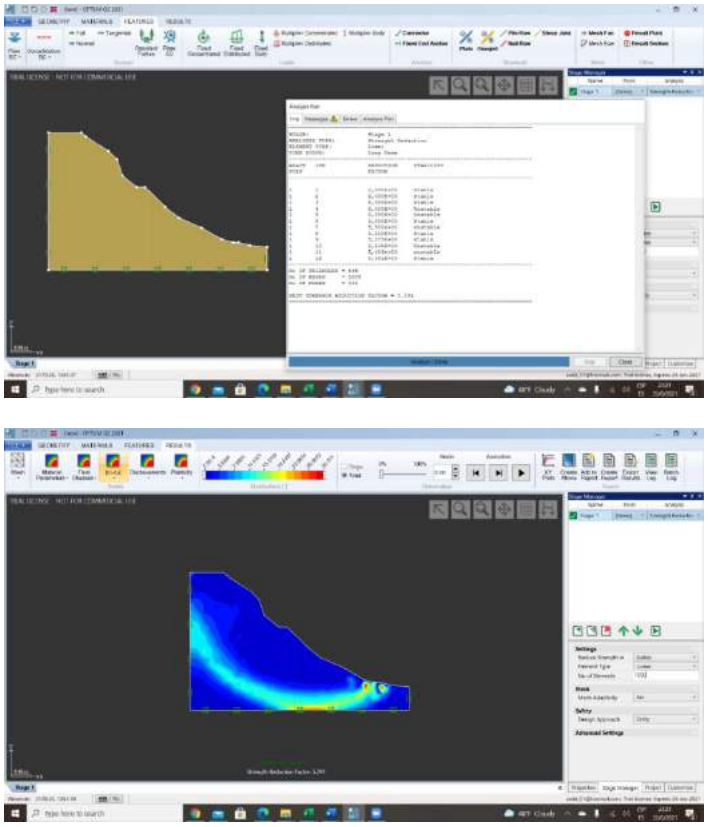
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 188. Corte 2 30° muestra 2 fibra de coco análisis upper



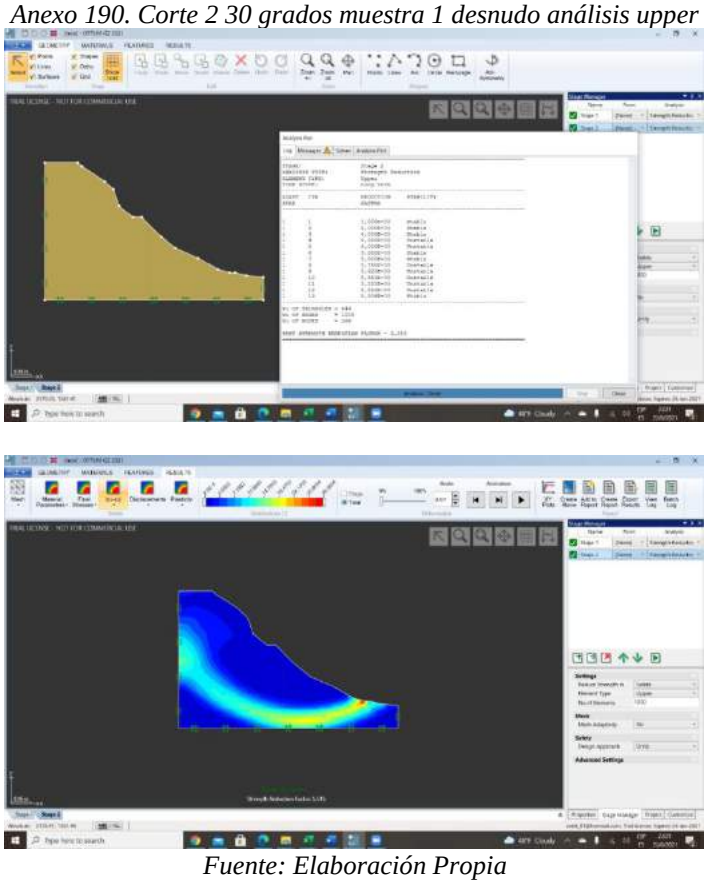
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 189. Corte 2 30° muestra 1 desnudo análisis lower



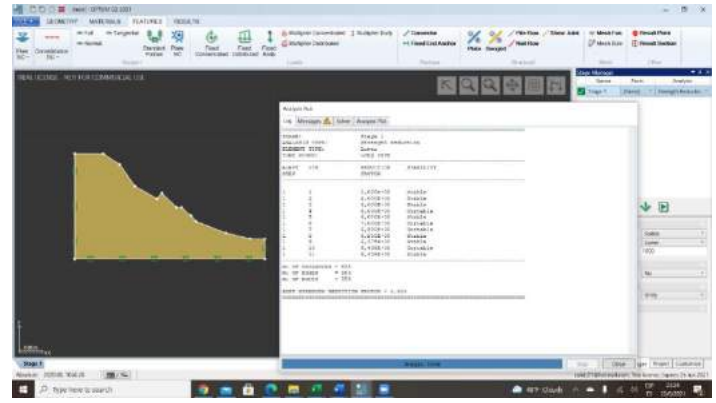
Fuente: Elaboración Propia

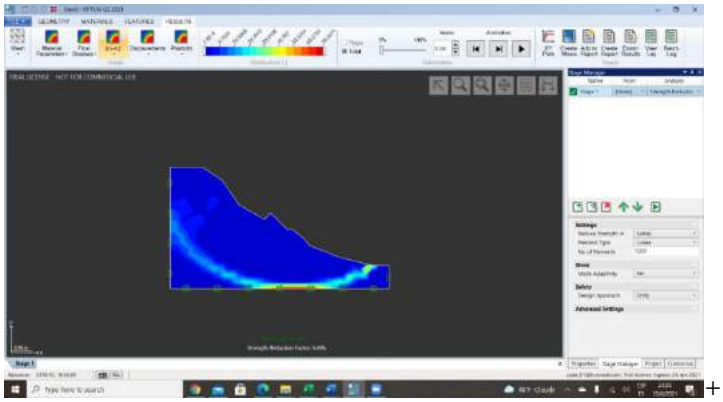
Anexo 190. Corte 2 30 grados muestra 1 desnudo análisis upper



Fuente: Elaboración Propia

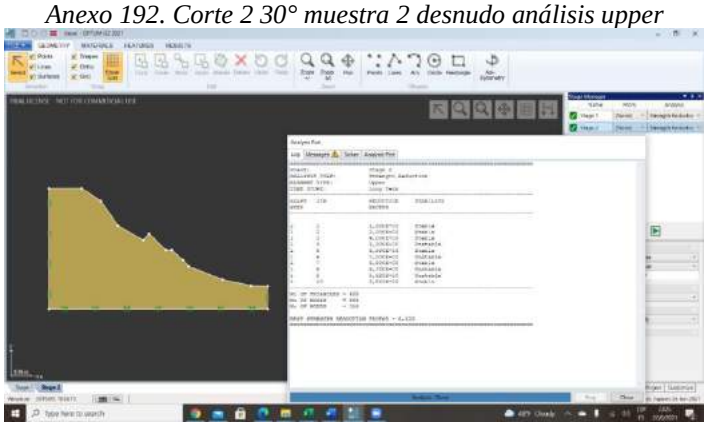
Anexo 191. Corte 2 30° muestra 2 desnudo análisis lower

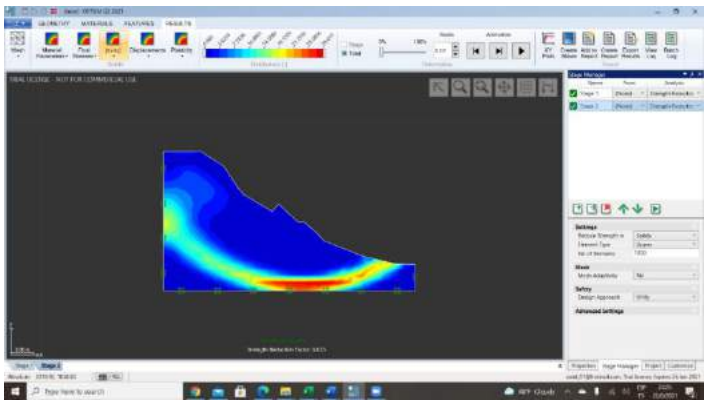




Fuente: Elaboración Propia

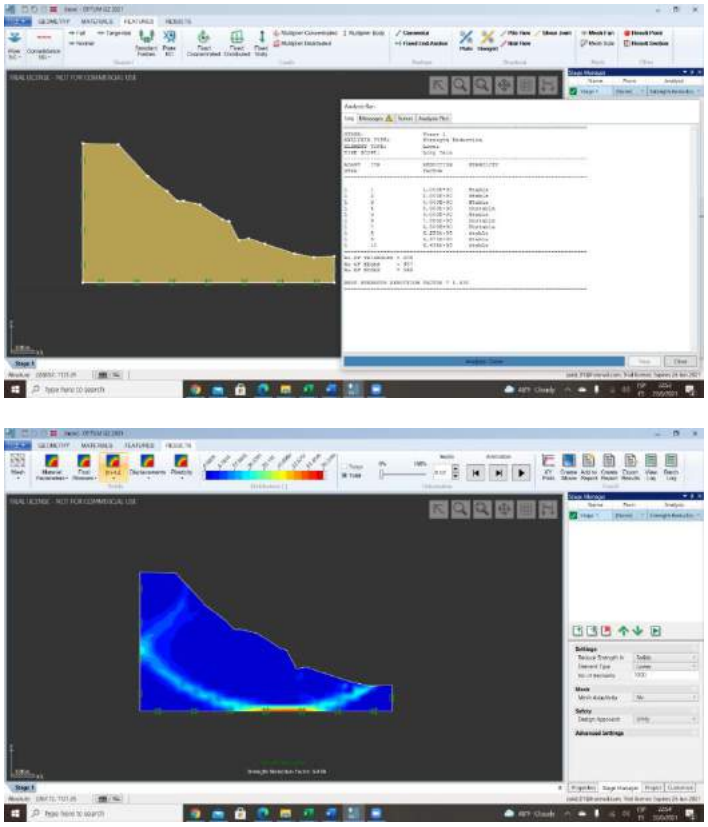
Anexo 192. Corte 2 30° muestra 2 desnudo análisis upper





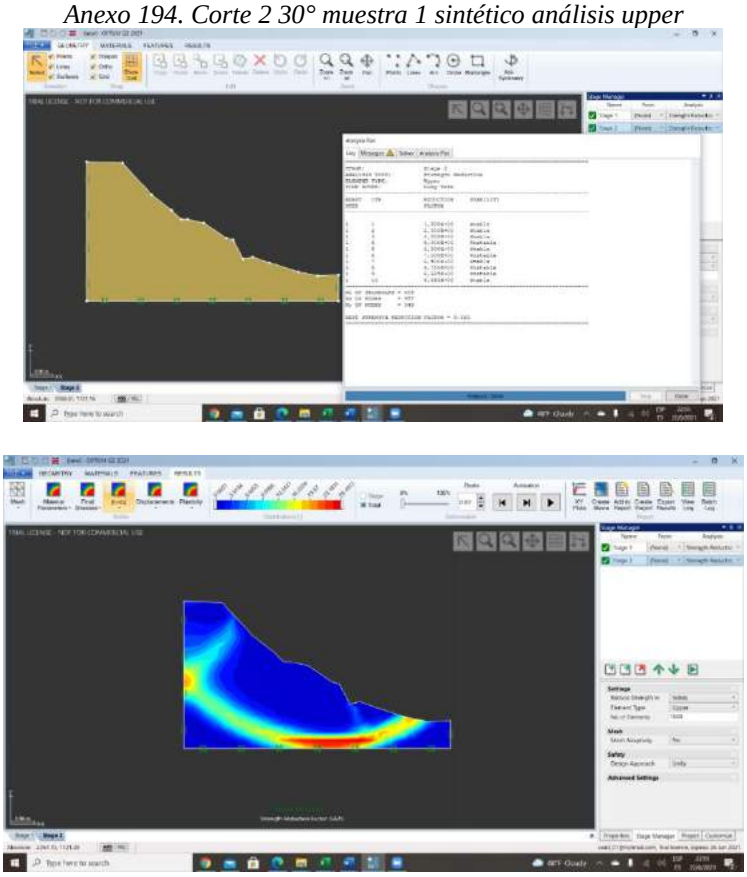
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 193. Corte 2 30° muestra 1 sintético análisis lower



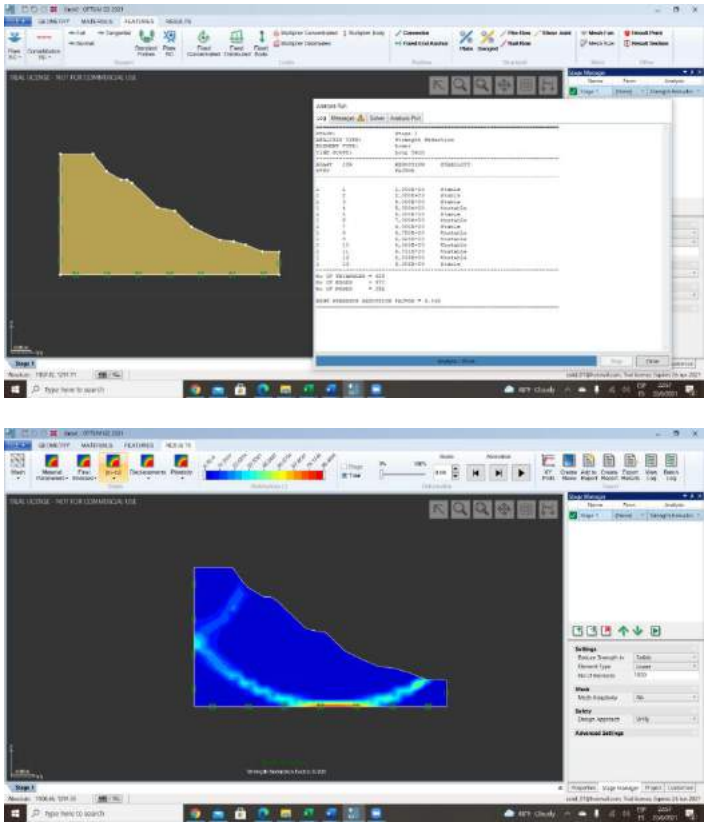
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 194. Corte 2 30° muestra 1 sintético análisis upper



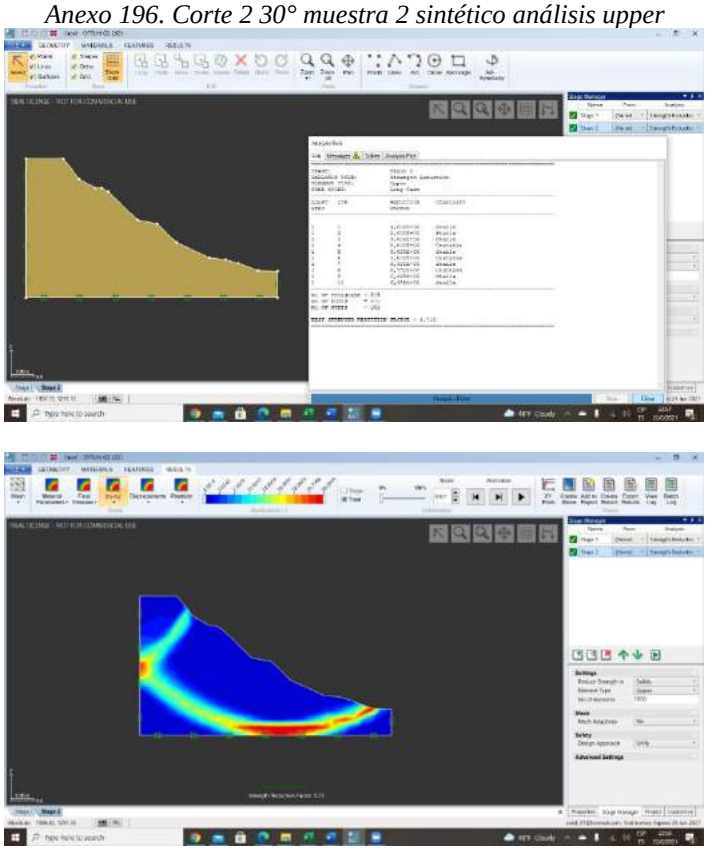
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 195. Corte 2 30° muestra 2 sintético análisis lower



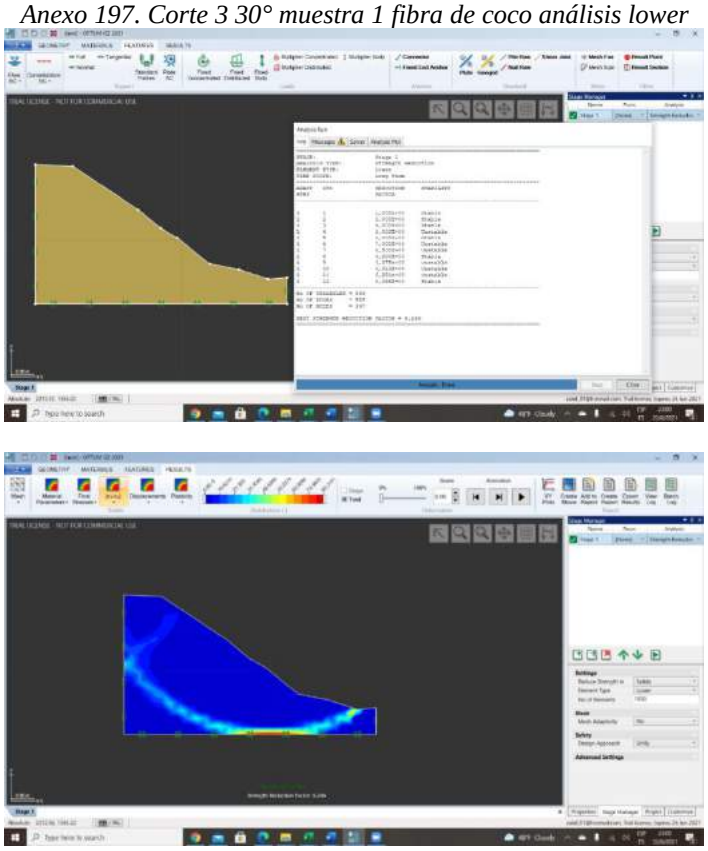
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 196. Corte 2 30° muestra 2 sintético análisis upper



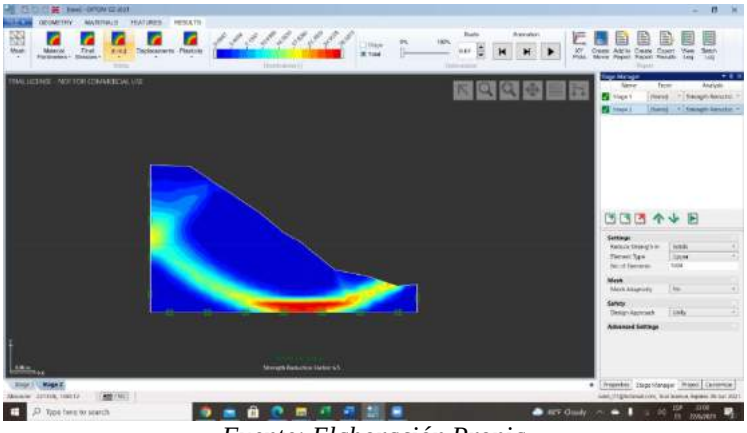
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 197. Corte 3 30° muestra 1 fibra de coco análisis lower



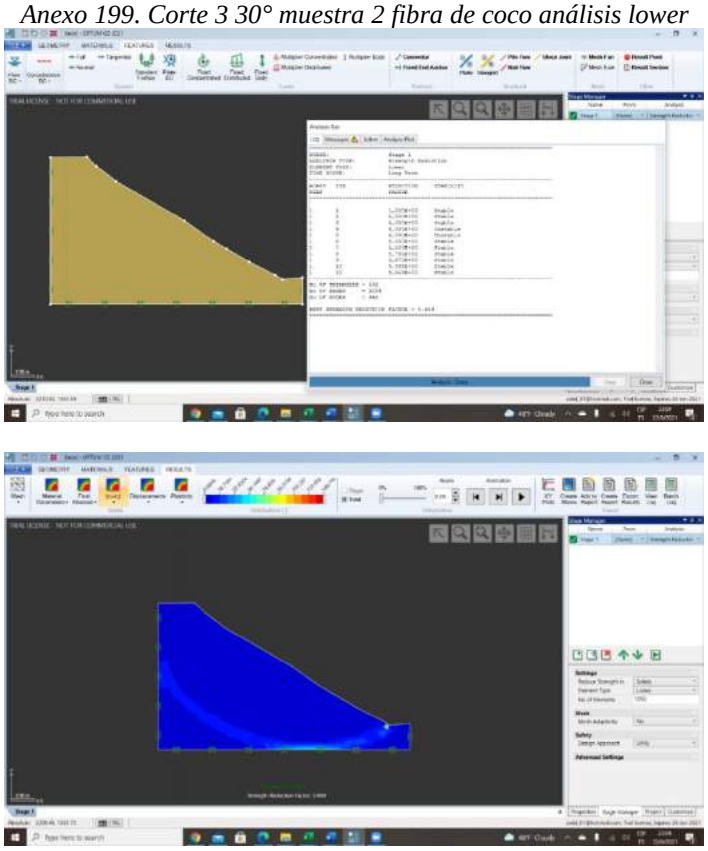
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 198. Corte 3 30° muestra 1 fibra de coco análisis upper



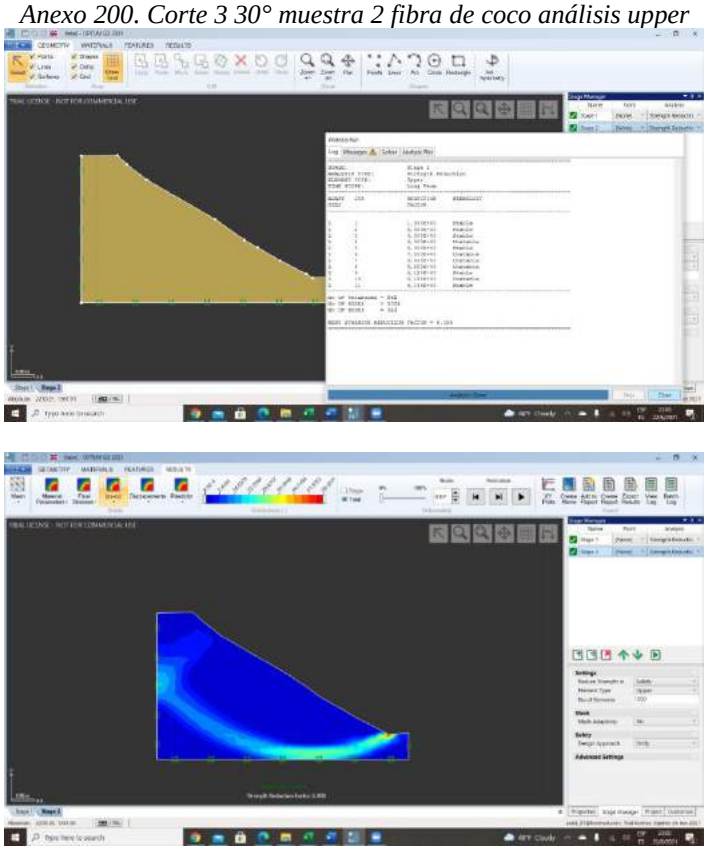
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 199. Corte 3 30° muestra 2 fibra de coco análisis lower



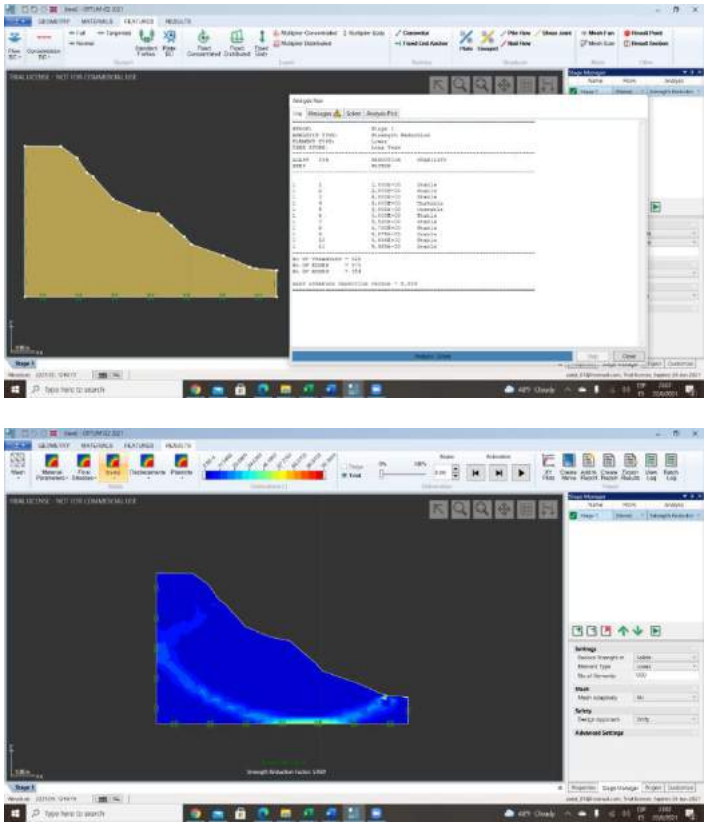
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 200. Corte 3 30° muestra 2 fibra de coco análisis upper



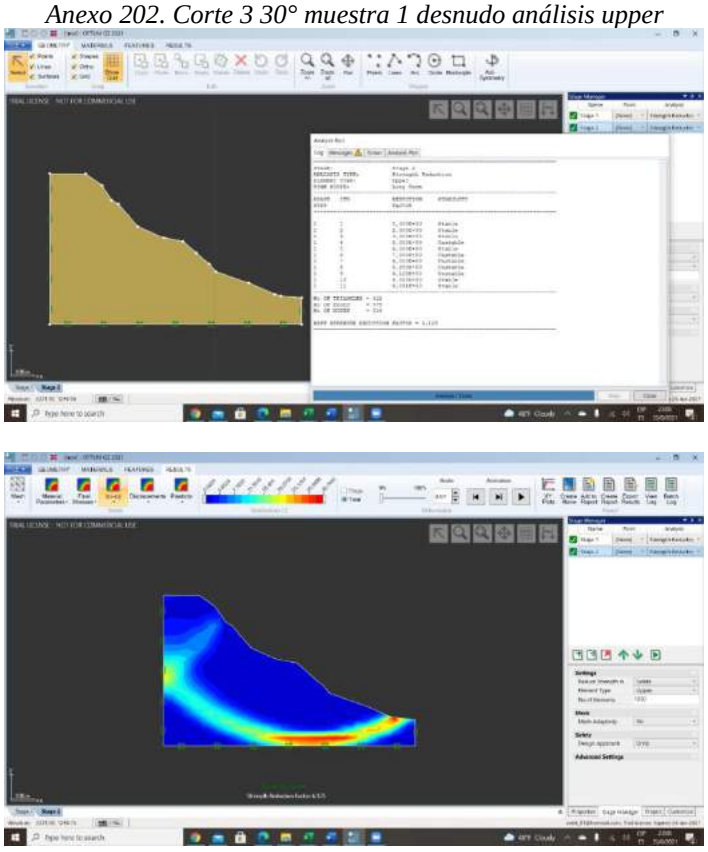
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 201. Corte 3 30° muestra 1 desnudo análisis lower



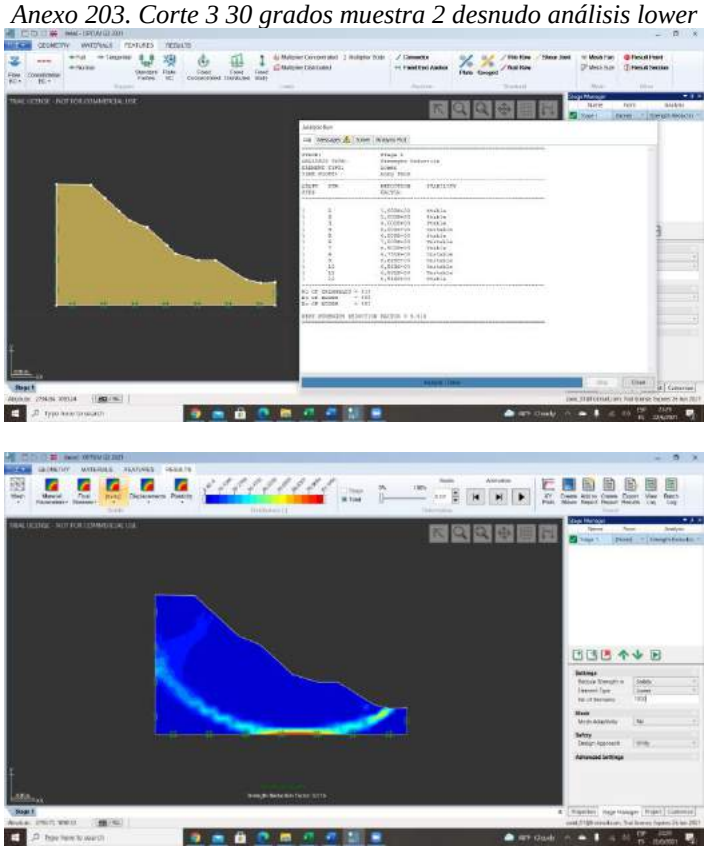
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 202. Corte 3 30° muestra 1 desnudo análisis upper



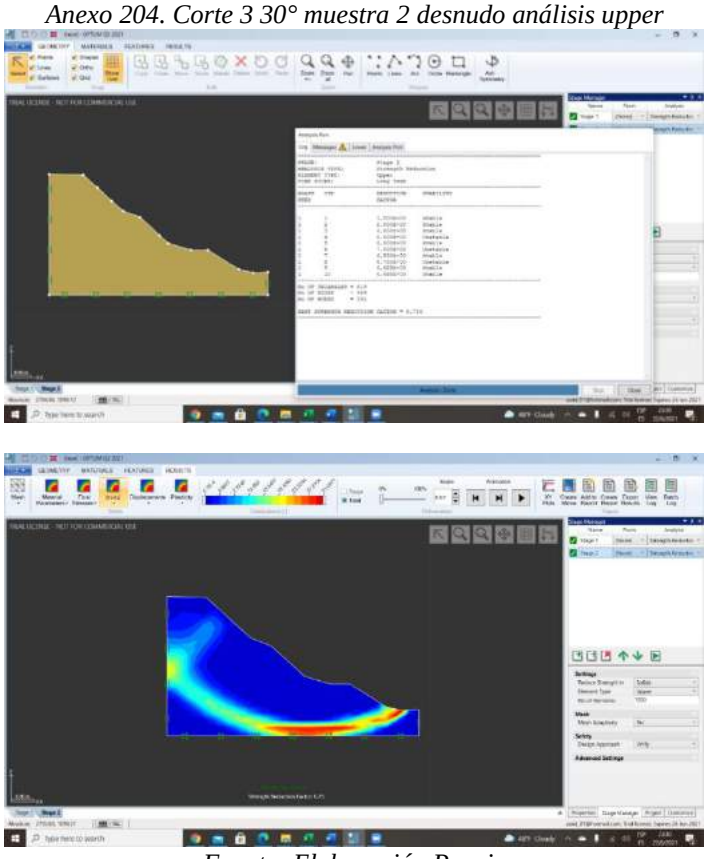
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 203. Corte 3 30 grados muestra 2 desnudo análisis lower



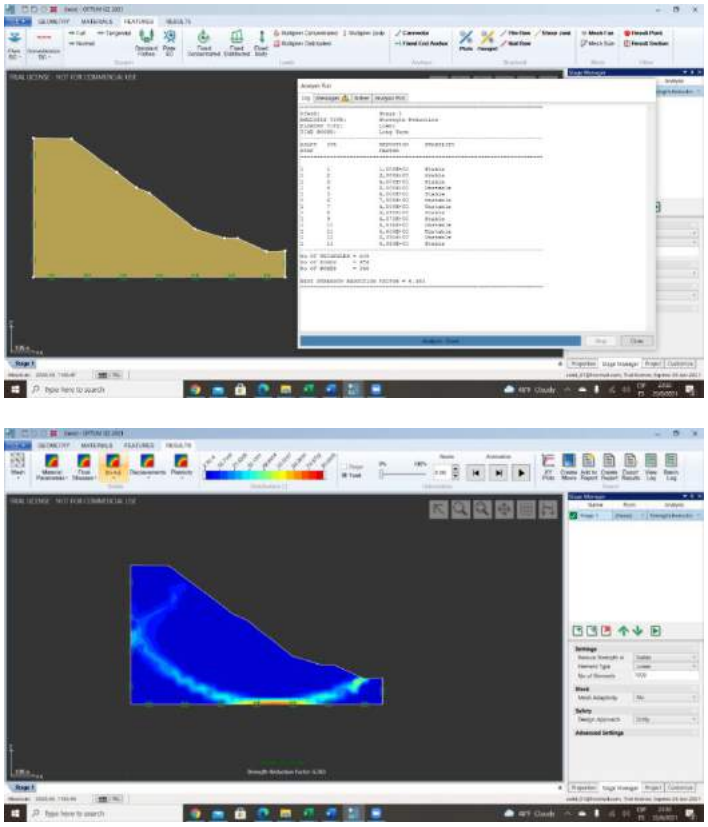
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 204. Corte 3 30° muestra 2 desnudo análisis upper



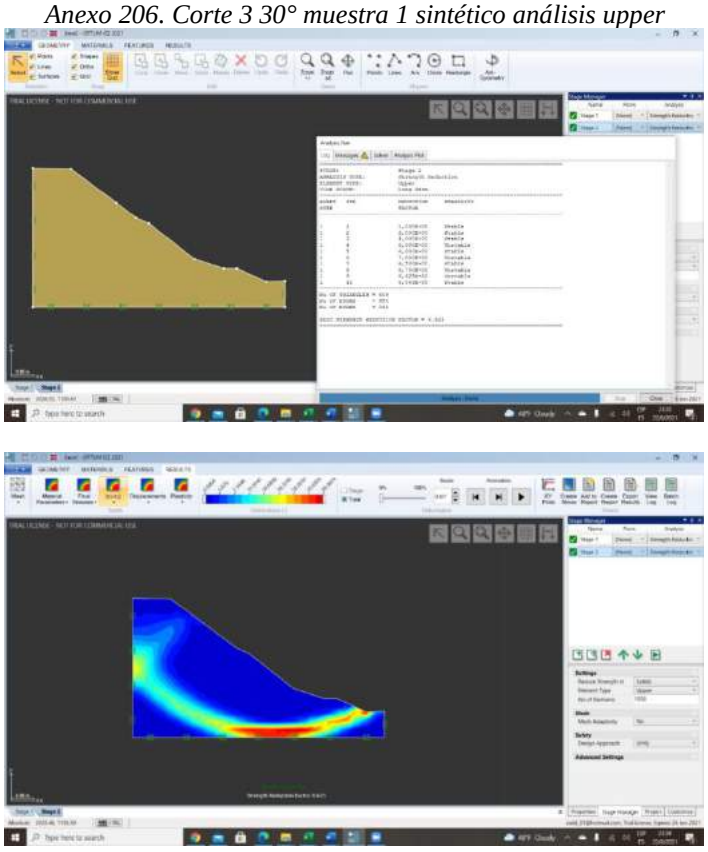
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 205. Corte 3 30° muestra 1 sintético análisis lower



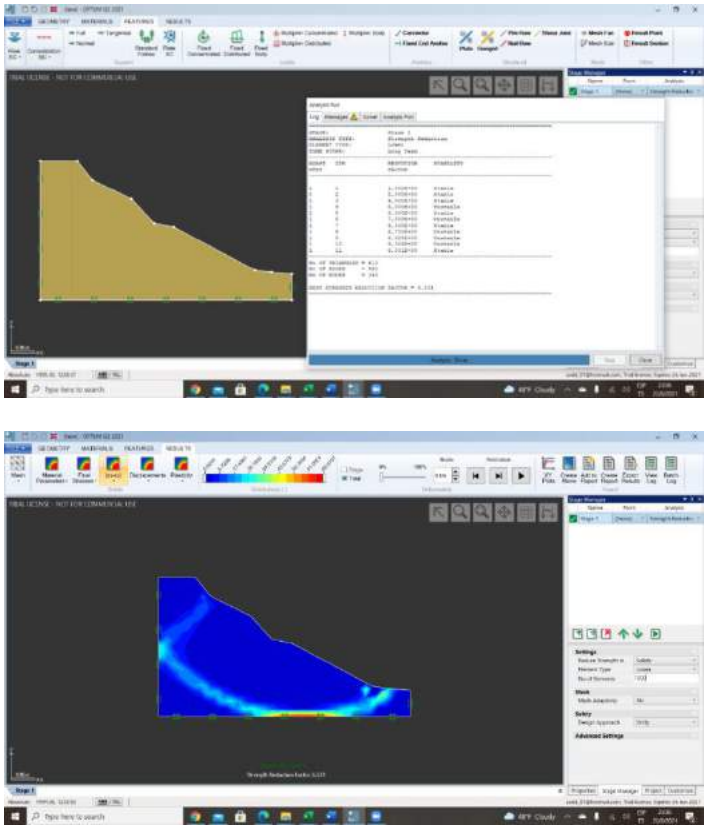
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 206. Corte 3 30° muestra 1 sintético análisis upper



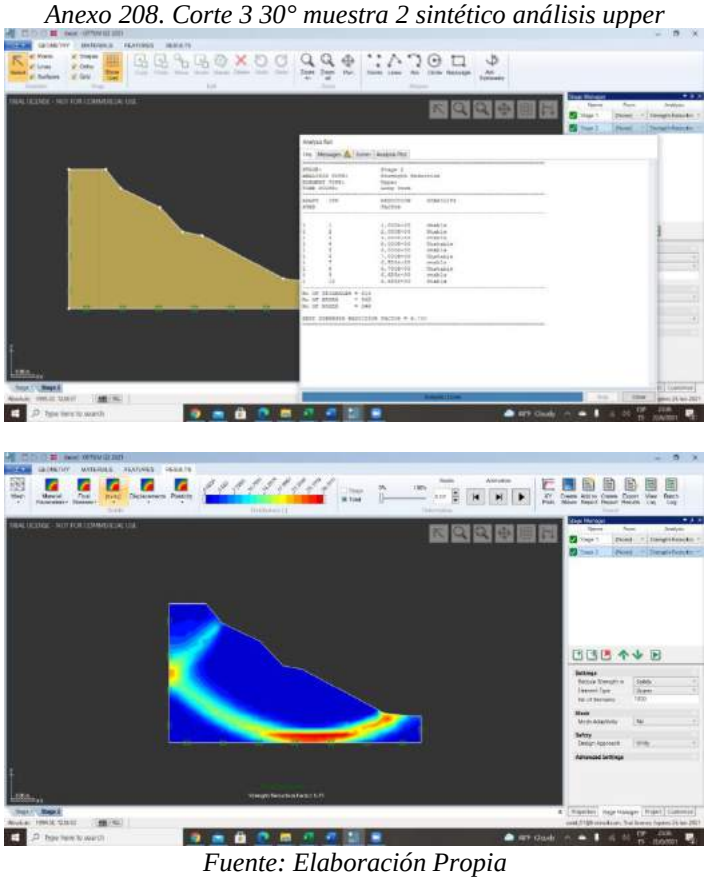
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 207. Corte 3 30° muestra 2 sintético análisis lower



Fuente: Elaboración Propia

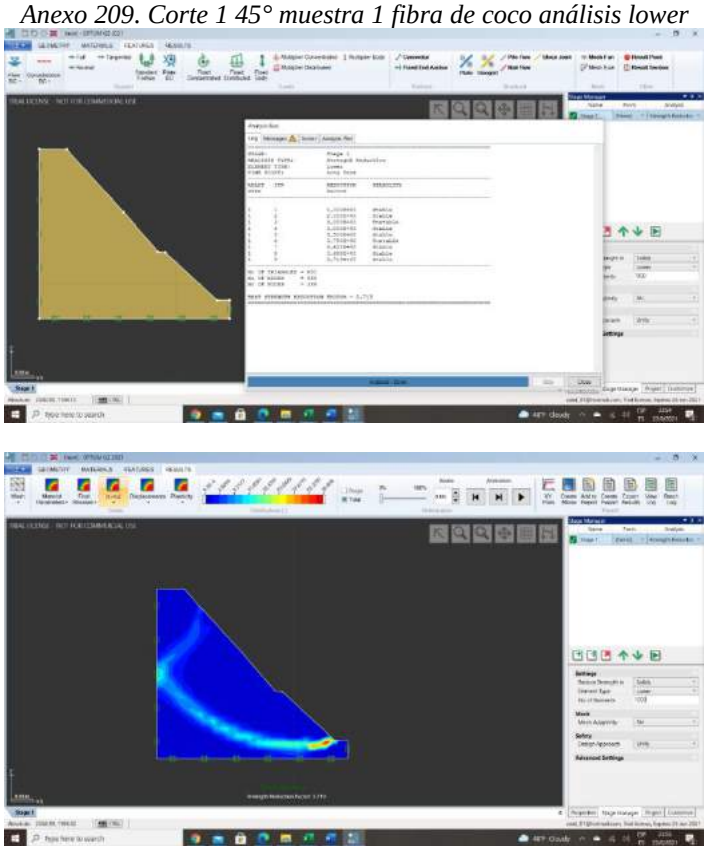
Anexo 208. Corte 3 30° muestra 2 sintético análisis upper



Fuente: Elaboración Propia

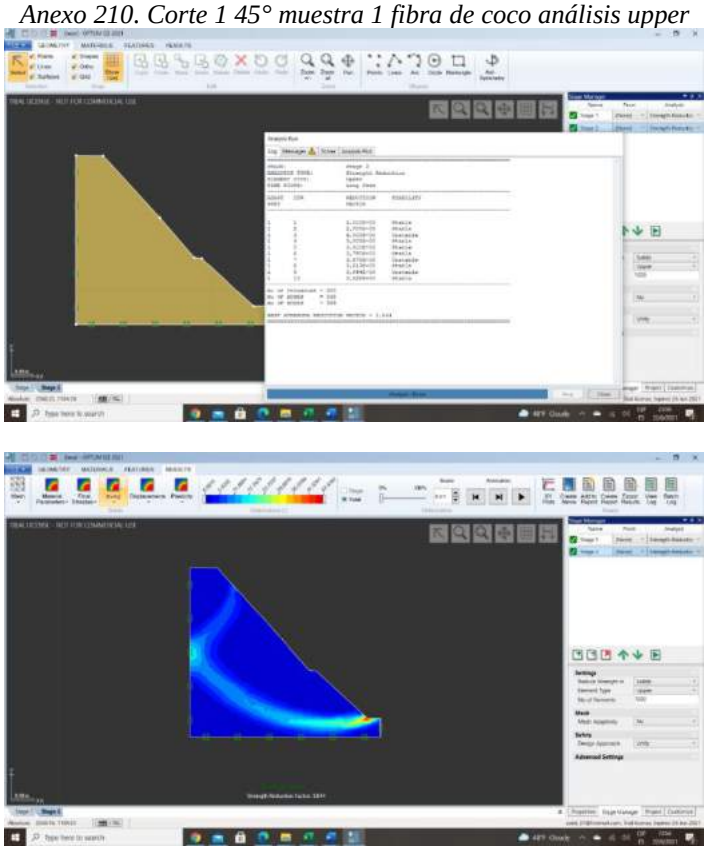
13.7.3. Talud 45°

Anexo 209. Corte 1 45° muestra 1 fibra de coco análisis lower



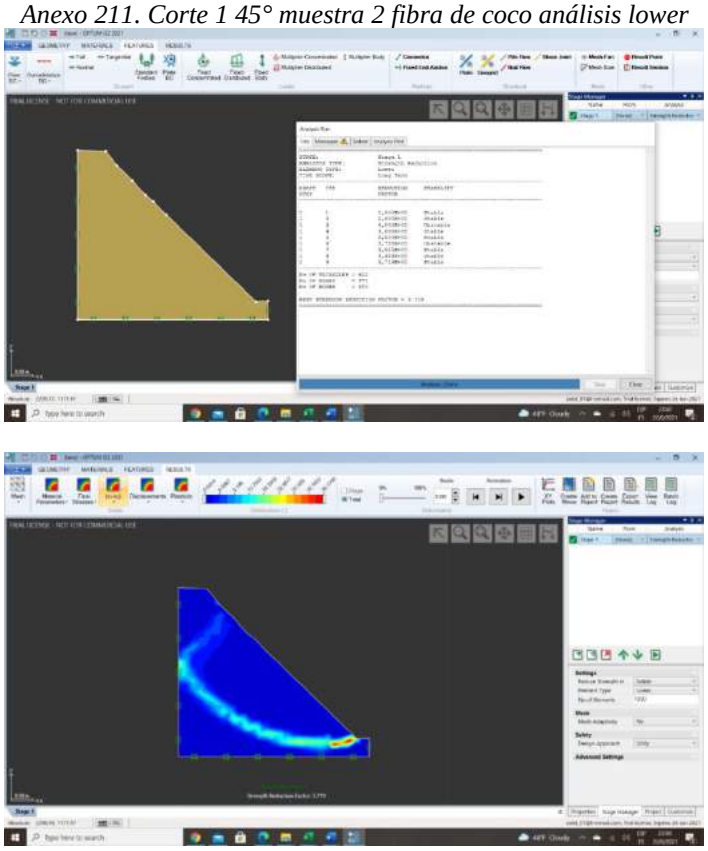
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 210. Corte 1 45° muestra 1 fibra de coco análisis upper



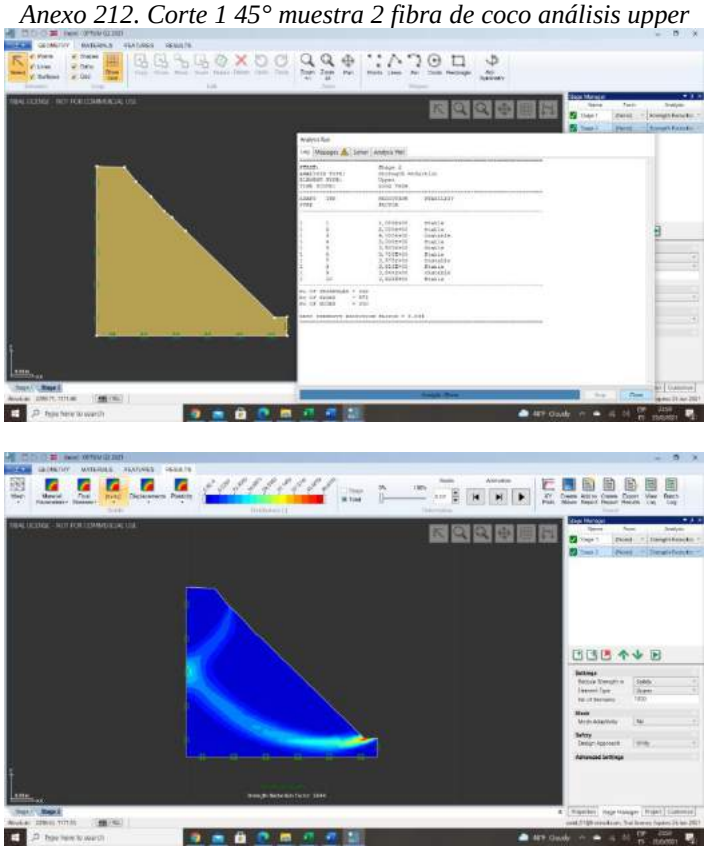
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 211. Corte 1 45° muestra 2 fibra de coco análisis lower



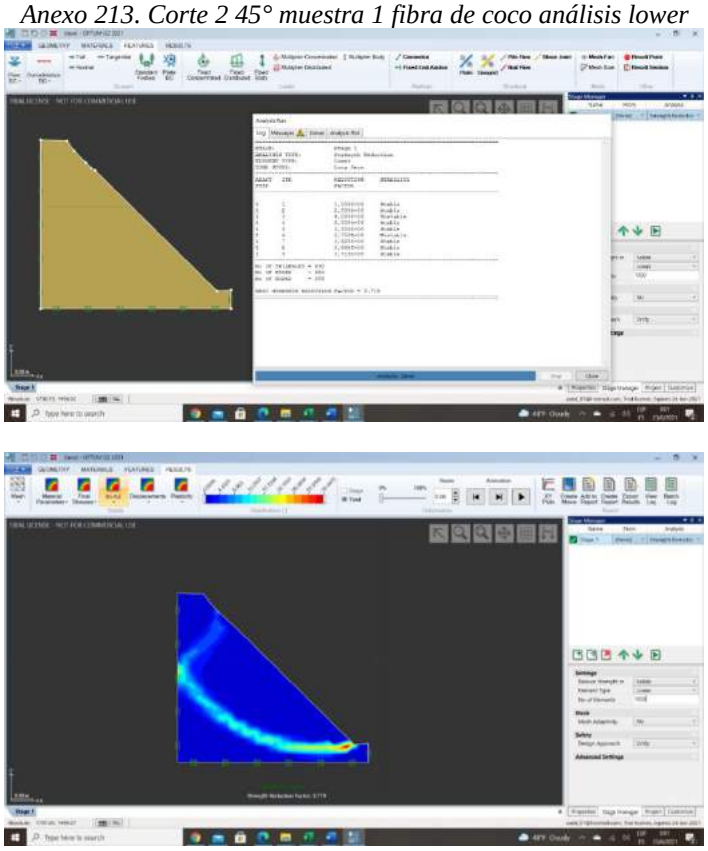
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 212. Corte 1 45° muestra 2 fibra de coco análisis upper



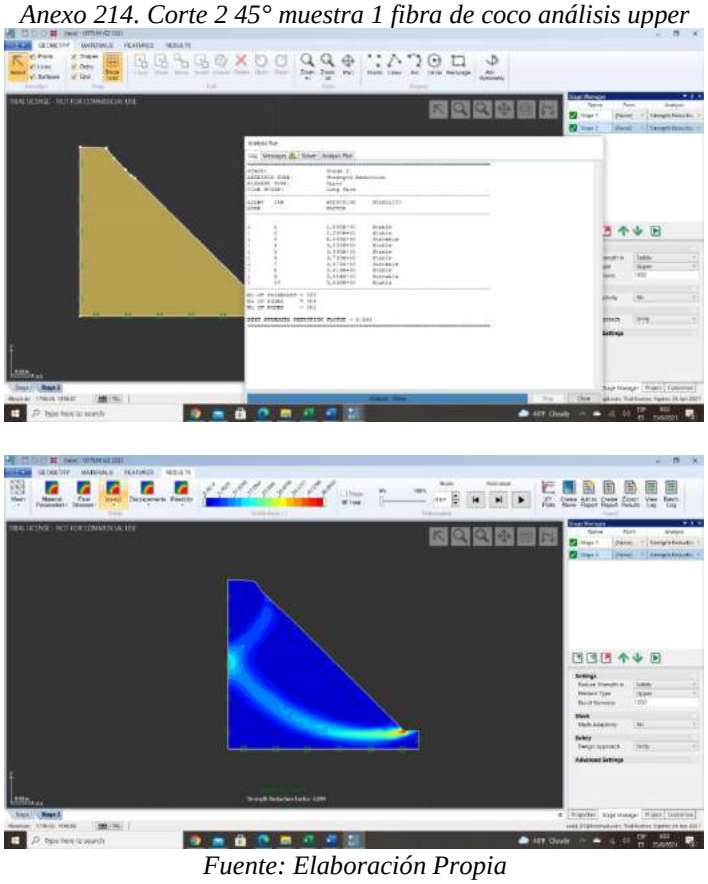
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 213. Corte 2 45° muestra 1 fibra de coco análisis lower



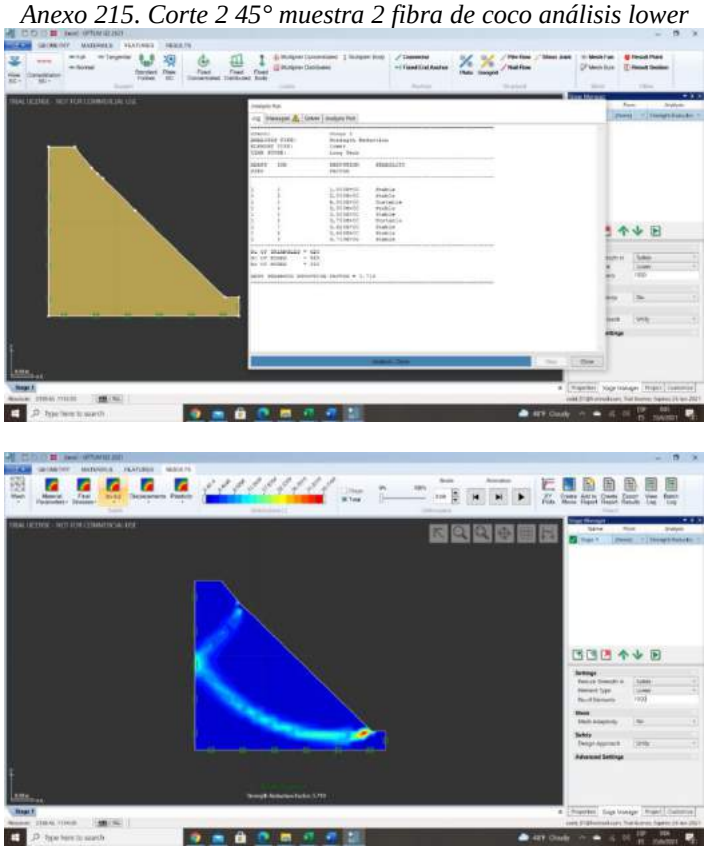
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 214. Corte 2 45° muestra 1 fibra de coco análisis upper



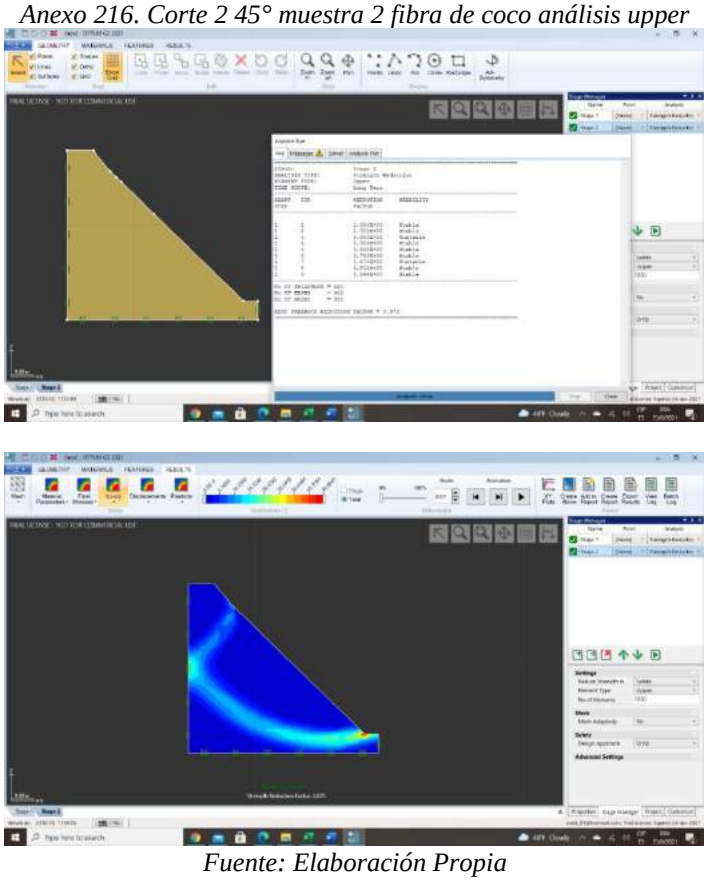
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 215. Corte 2 45° muestra 2 fibra de coco análisis lower



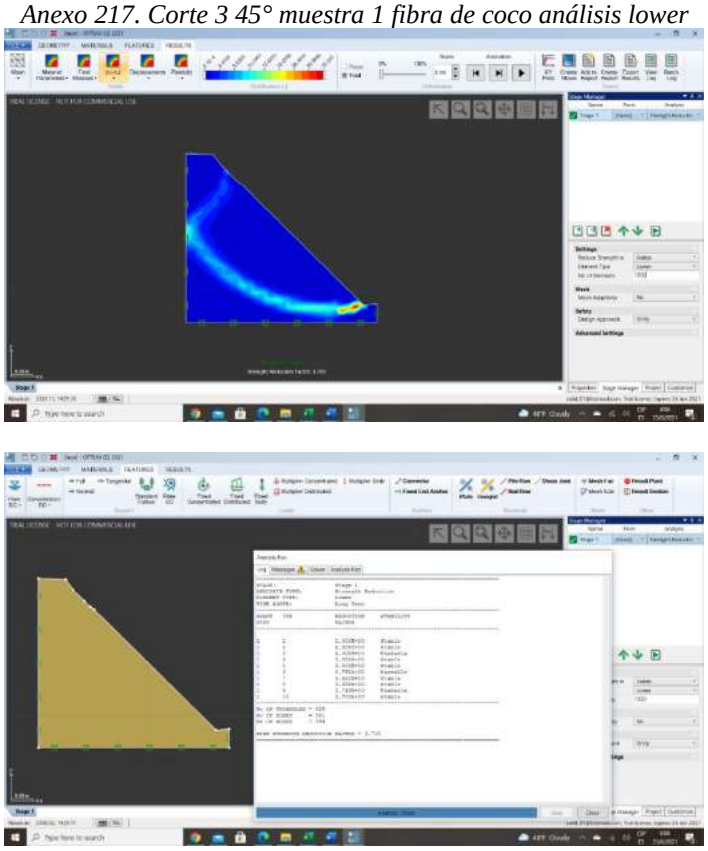
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 216. Corte 2 45° muestra 2 fibra de coco análisis upper



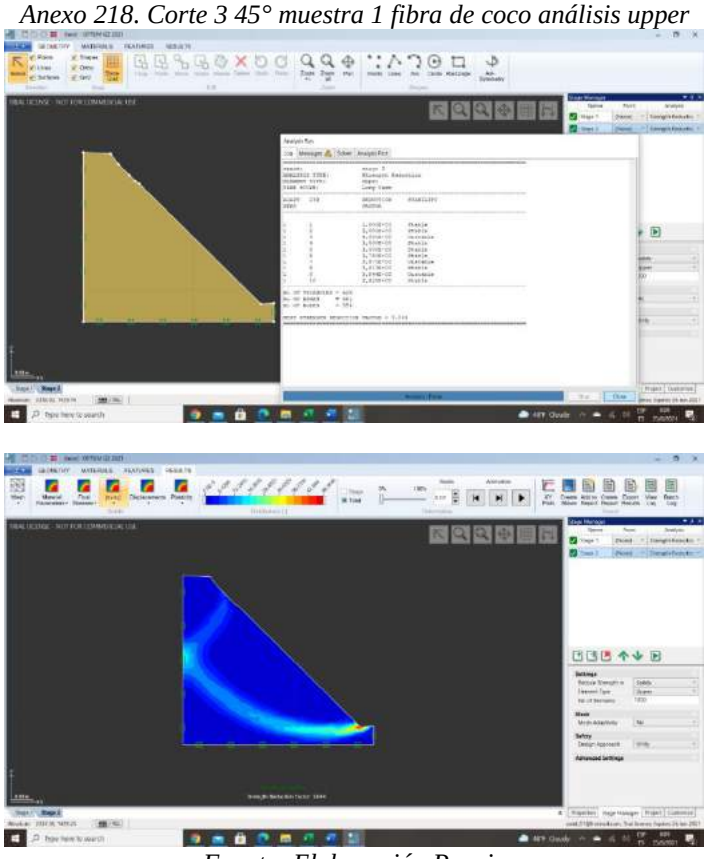
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 217. Corte 3 45° muestra 1 fibra de coco análisis lower



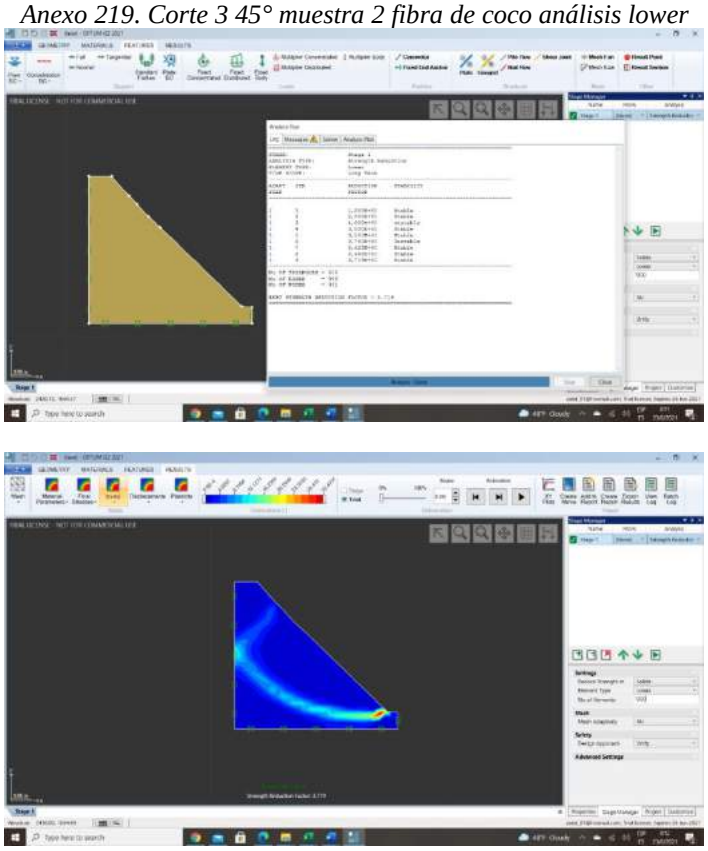
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 218. Corte 3 45° muestra 1 fibra de coco análisis upper



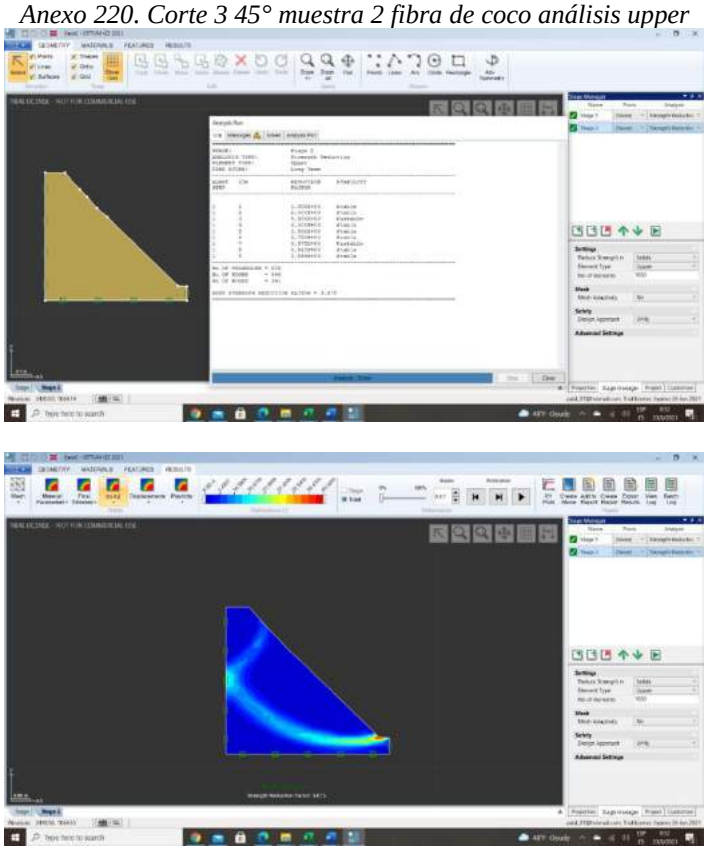
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 219. Corte 3 45° muestra 2 fibra de coco análisis lower



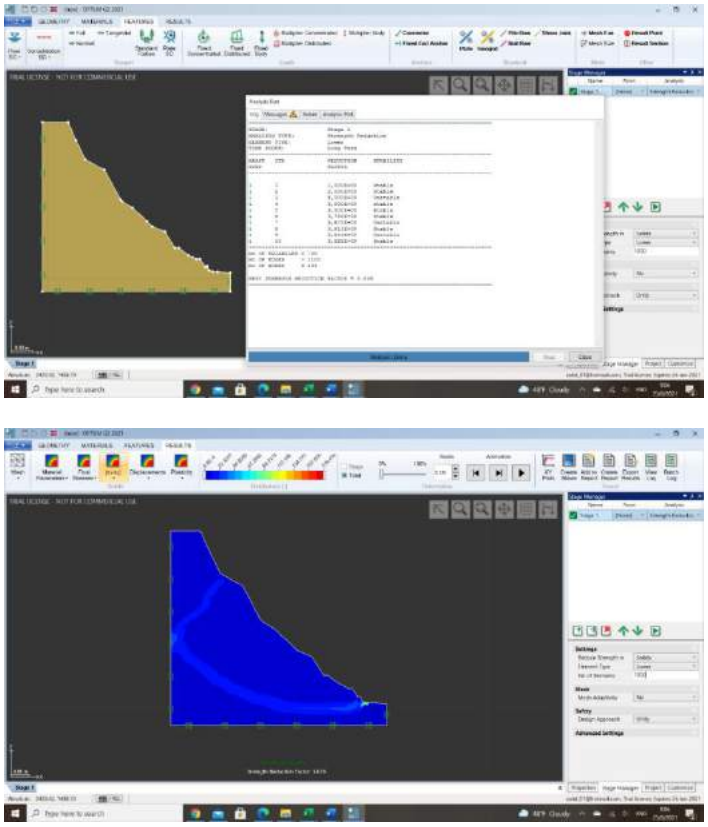
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 220. Corte 3 45° muestra 2 fibra de coco análisis upper



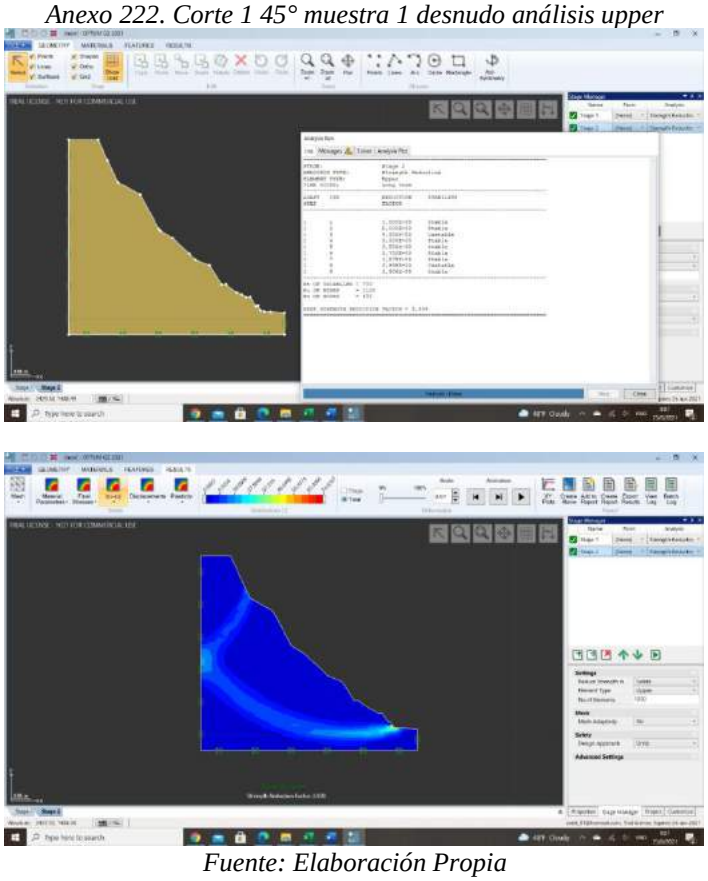
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 221. Corte 1 45° muestra 1 desnudo análisis lower



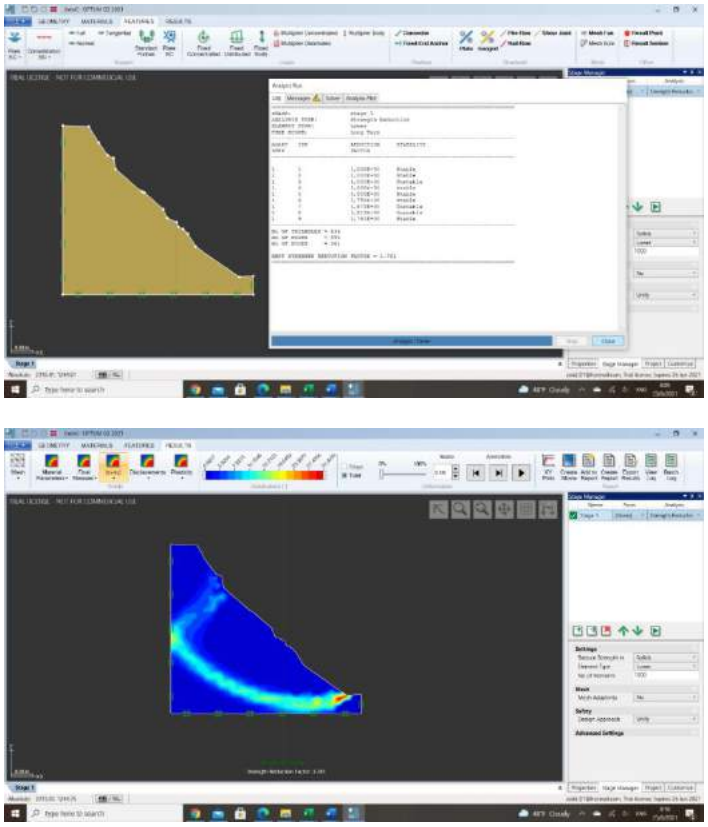
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 222. Corte 1 45° muestra 1 desnudo análisis upper



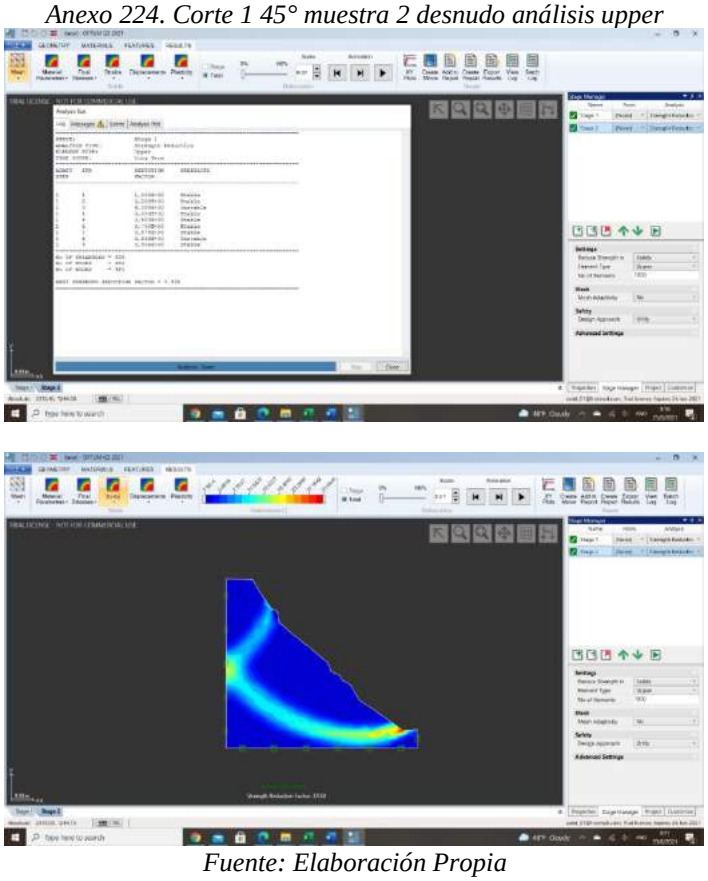
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 223. Corte 1 45° muestra 2 desnudo análisis lower



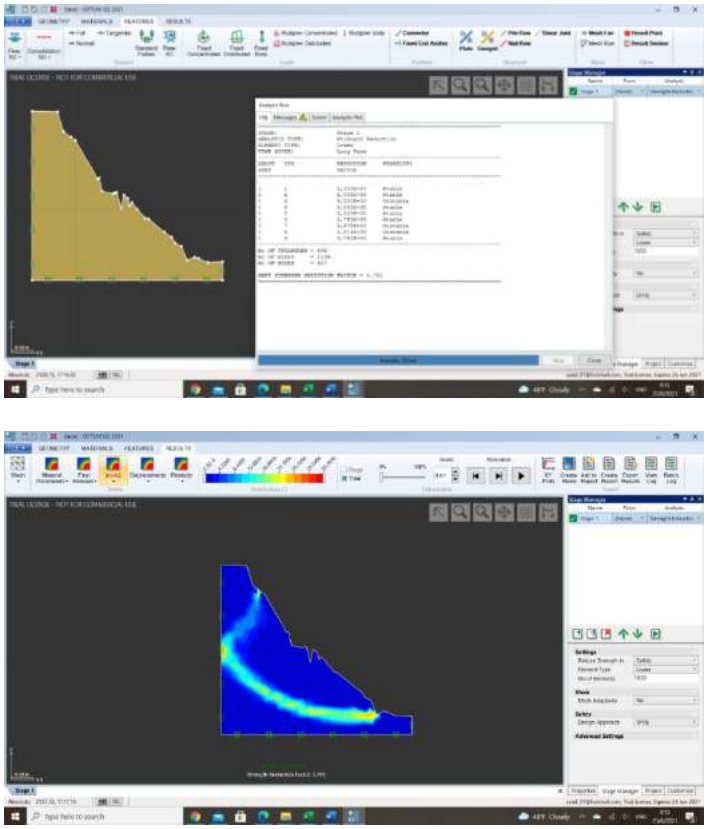
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 224. Corte 1 45° muestra 2 desnudo análisis upper



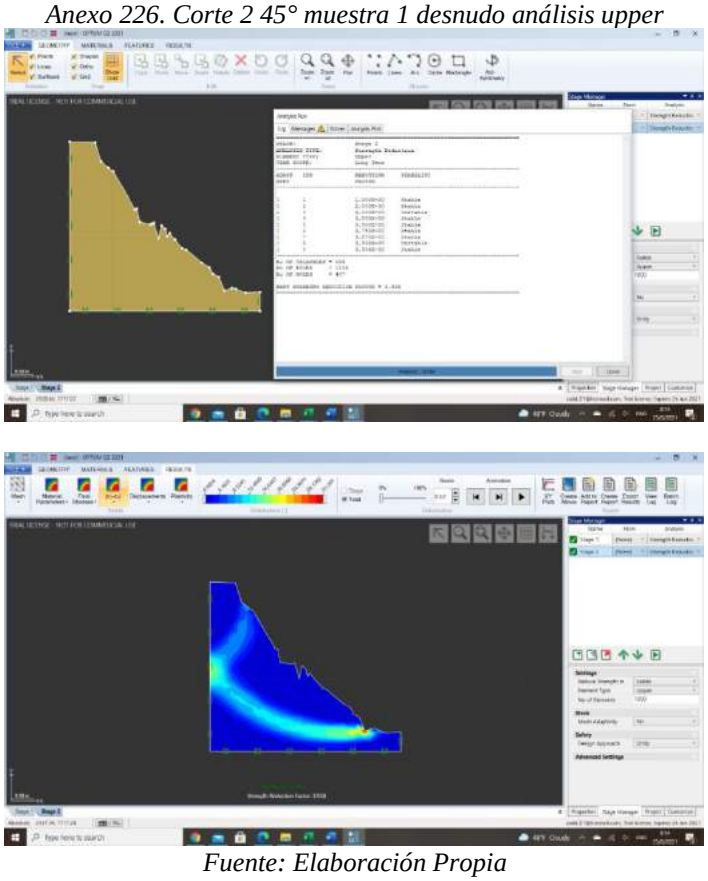
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 225. Corte 2 45° muestra 1 desnudo análisis lower



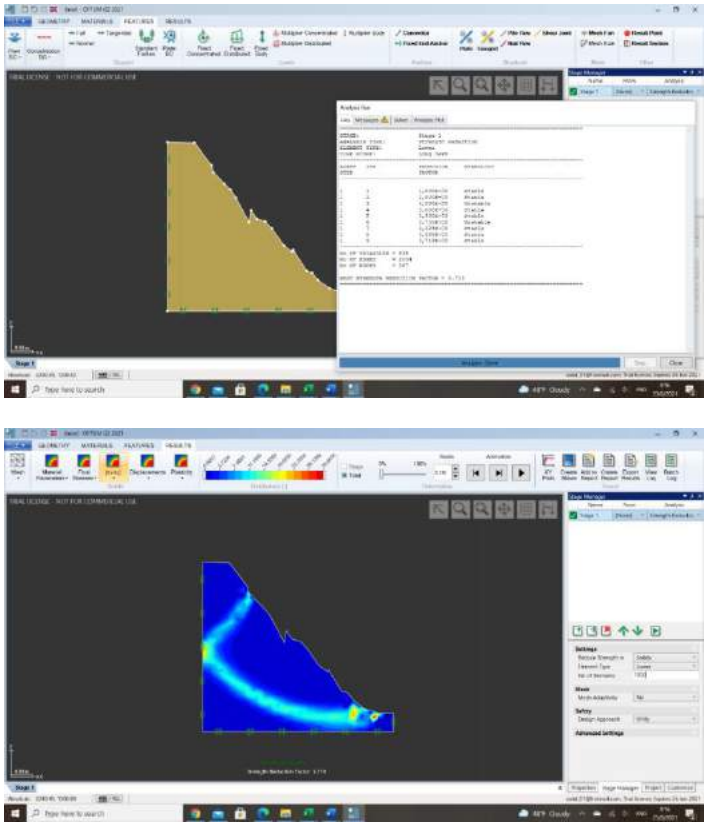
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 226. Corte 2 45° muestra 1 desnudo análisis upper



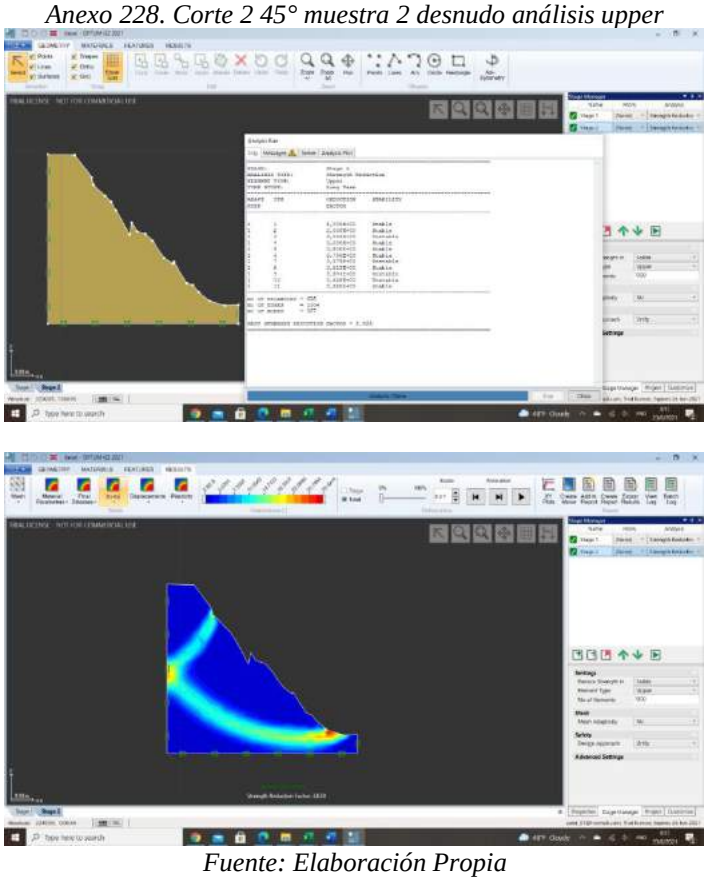
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 227. Corte 2 45° muestra 2 desnudo análisis lower



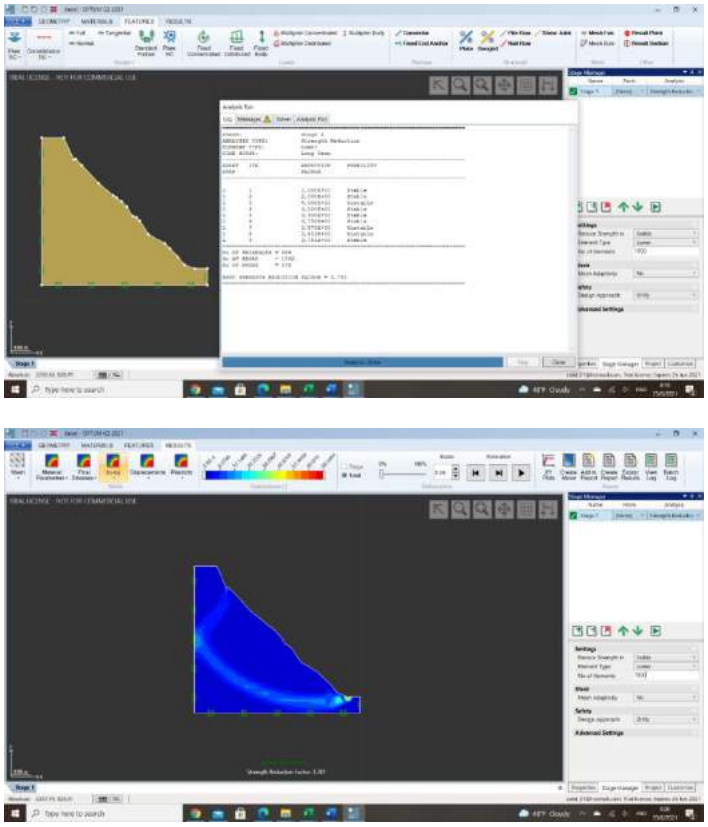
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 228. Corte 2 45° muestra 2 desnudo análisis upper



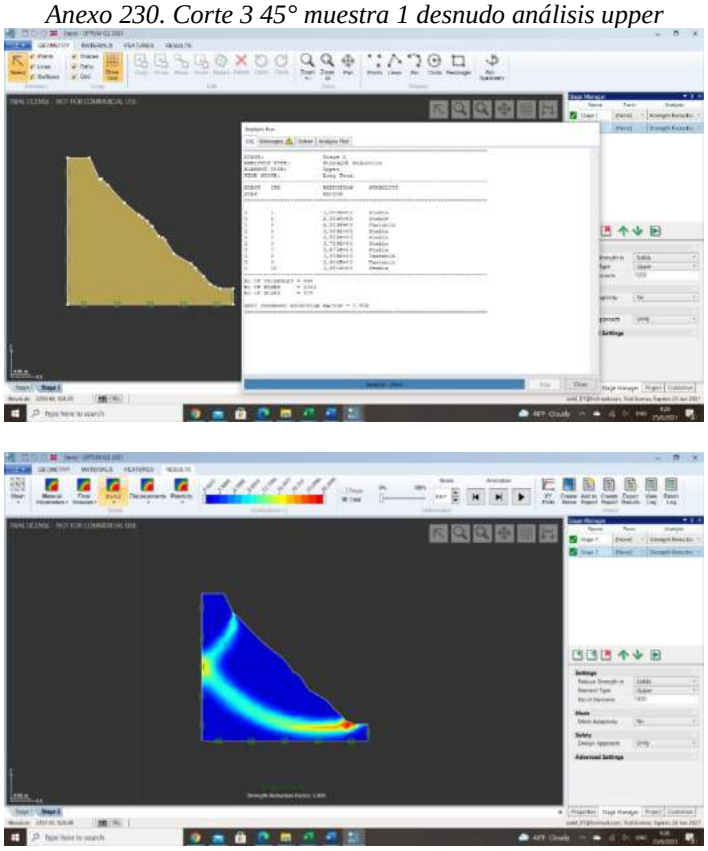
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 229. Corte 3 45° muestra 1 desnudo análisis lower



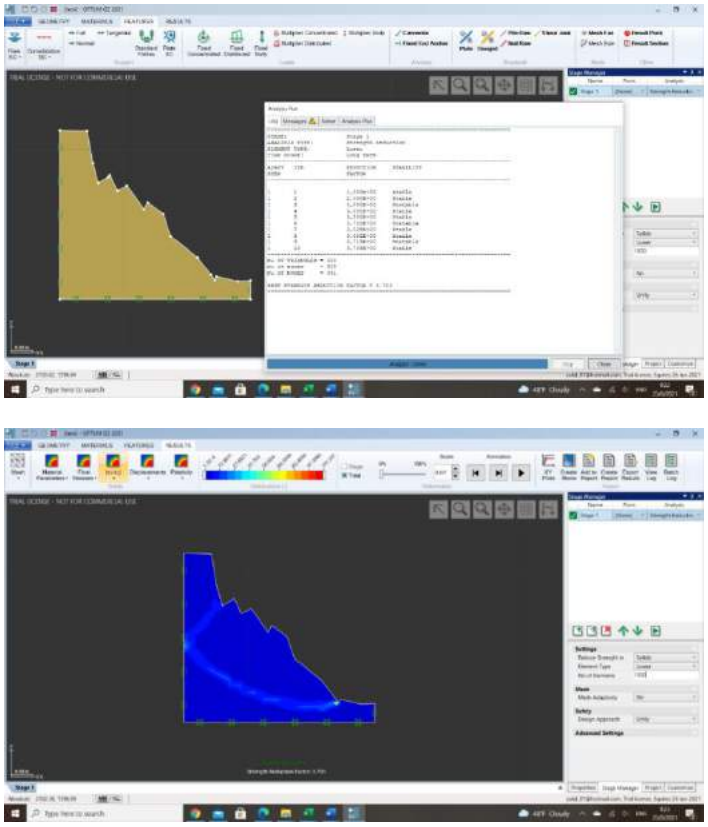
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 230. Corte 3 45° muestra 1 desnudo análisis upper



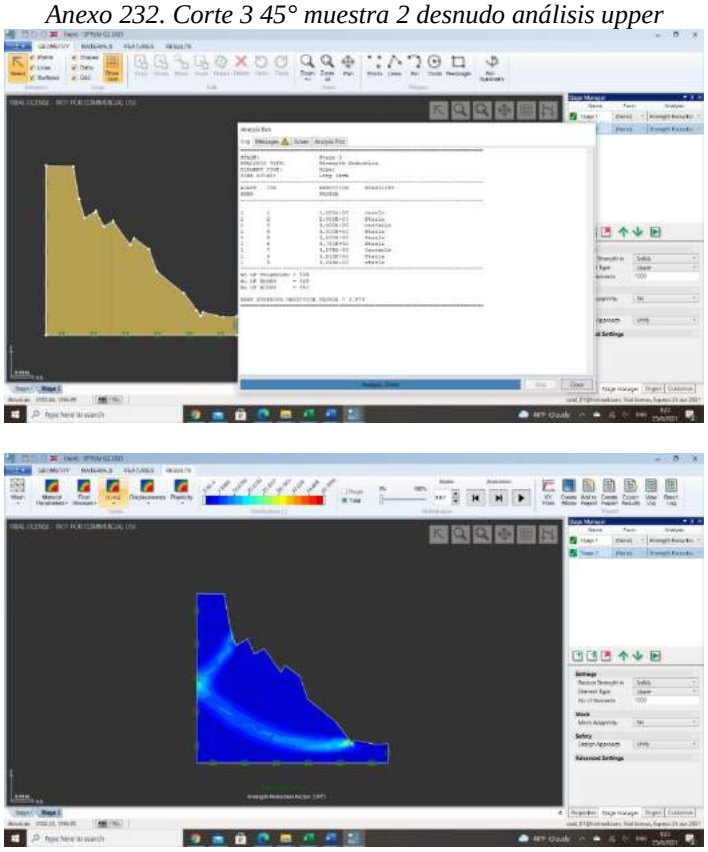
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 231. Corte 3 45° muestra 2 desnudo análisis lower



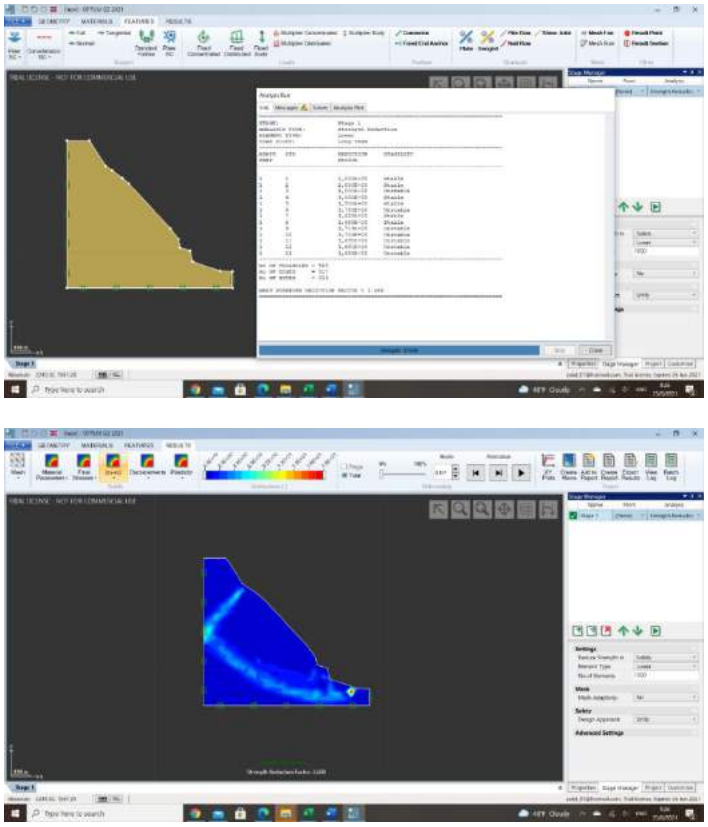
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 232. Corte 3 45° muestra 2 desnudo análisis upper



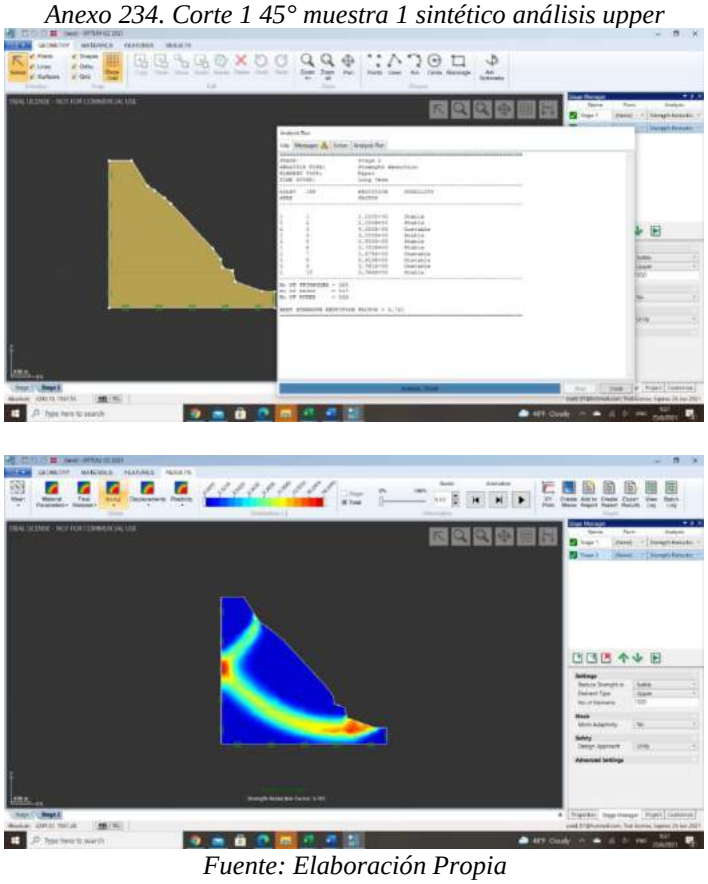
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 233. Corte 1 45° muestra 1 sintético análisis lower



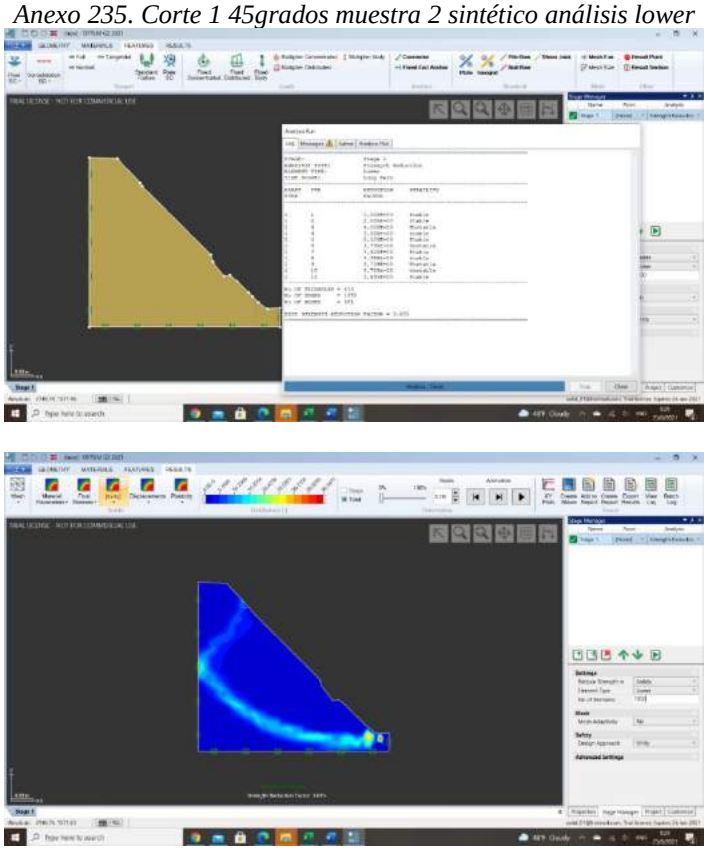
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 234. Corte 1 45° muestra 1 sintético análisis upper



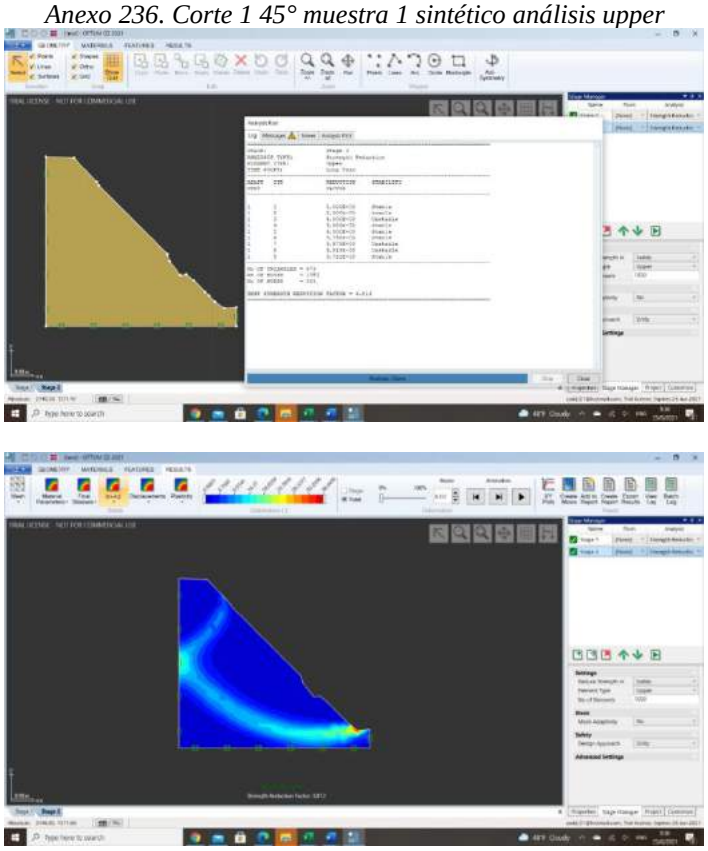
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 235. Corte 1 45grados muestra 2 sintético análisis lower



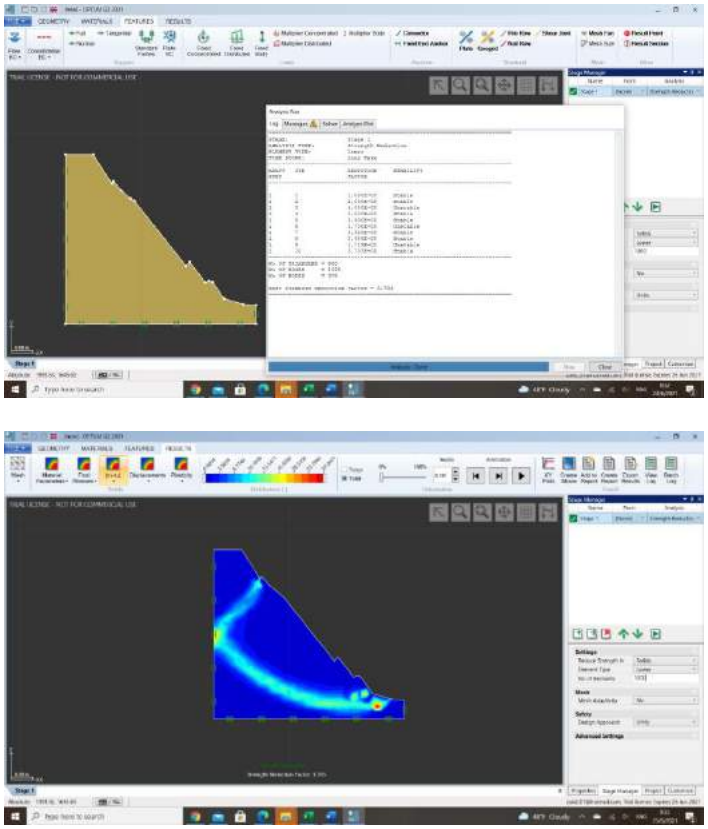
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 236. Corte 1 45° muestra 1 sintético análisis upper



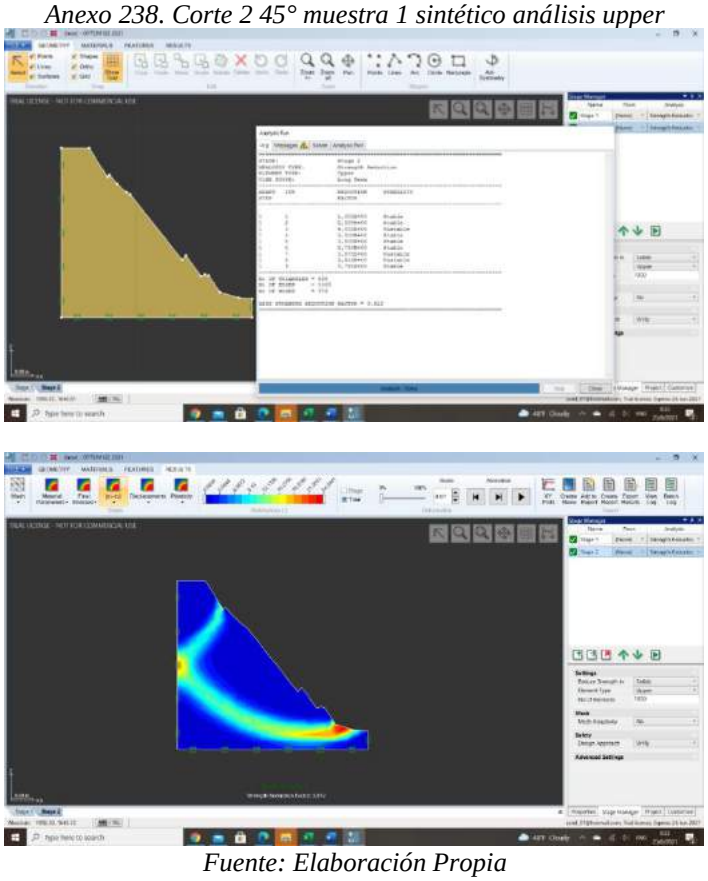
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 237. Corte 2 45° muestra 1 sintético análisis lower



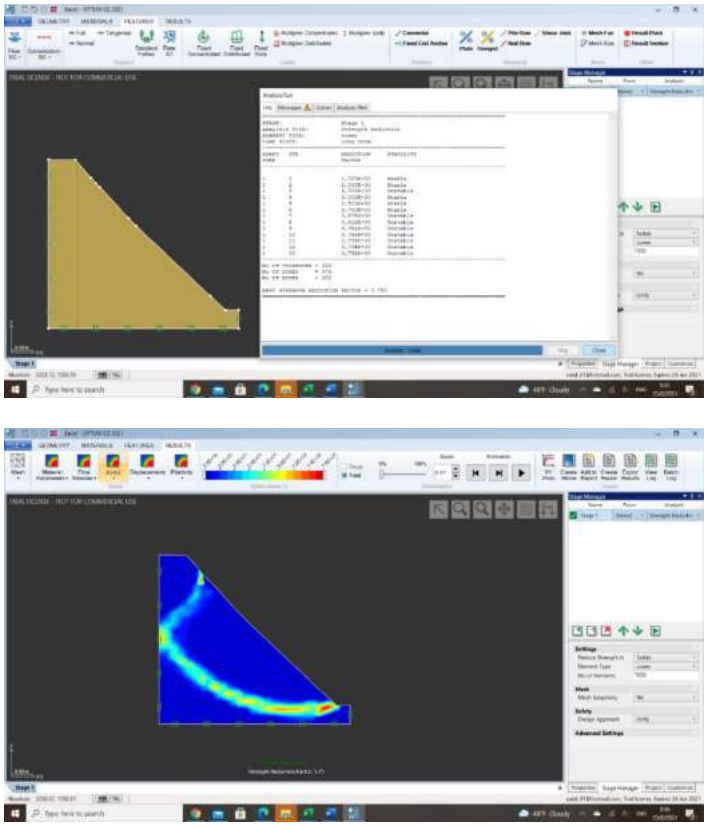
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 238. Corte 2 45° muestra 1 sintético análisis upper



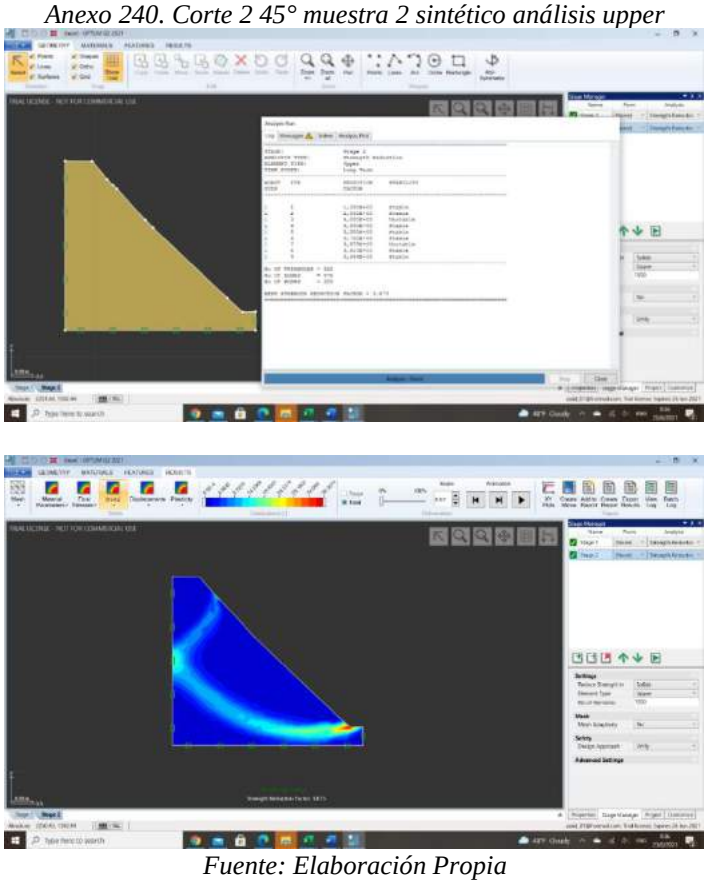
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 239. Corte 2 45° muestra 2 sintético análisis lower



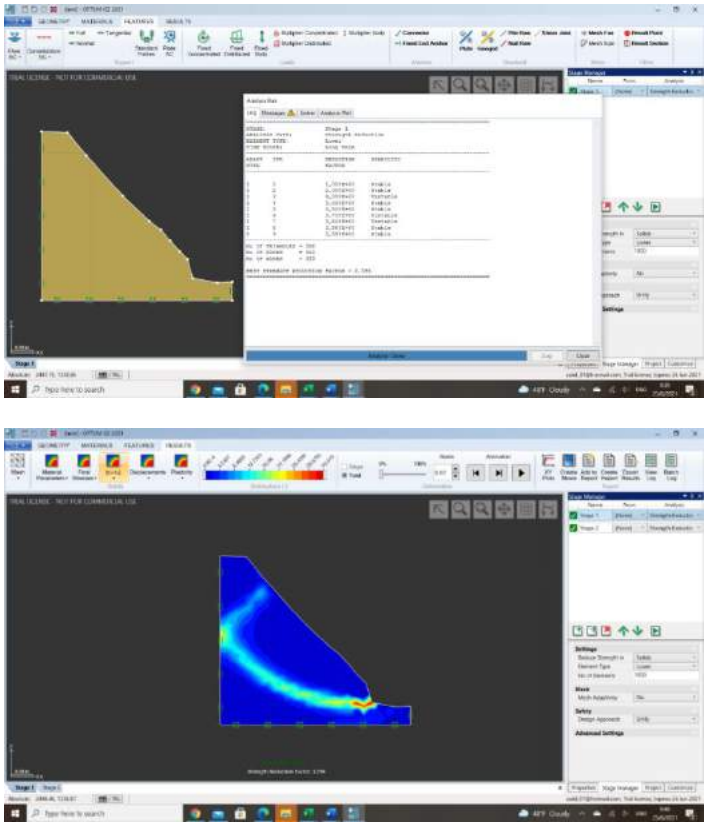
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 240. Corte 2 45° muestra 2 sintético análisis upper



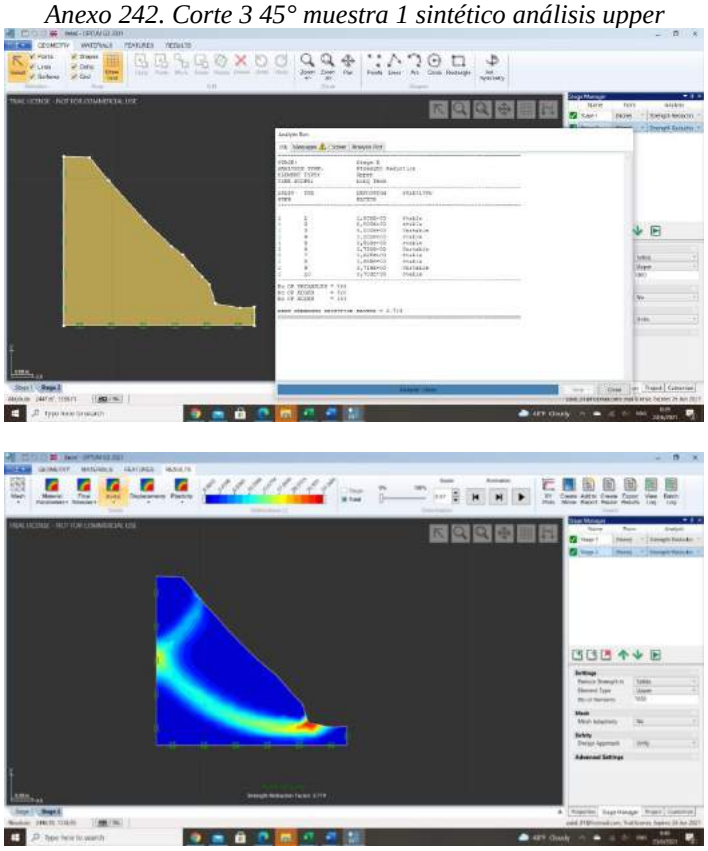
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 241. Corte 3 45° muestra 1 sintético análisis lower



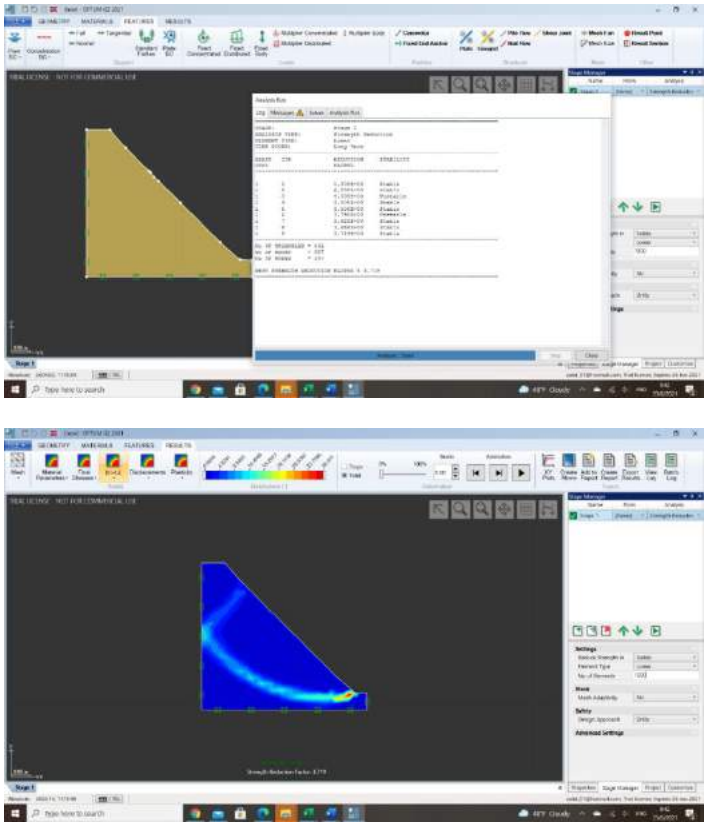
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 242. Corte 3 45° muestra 1 sintético análisis upper



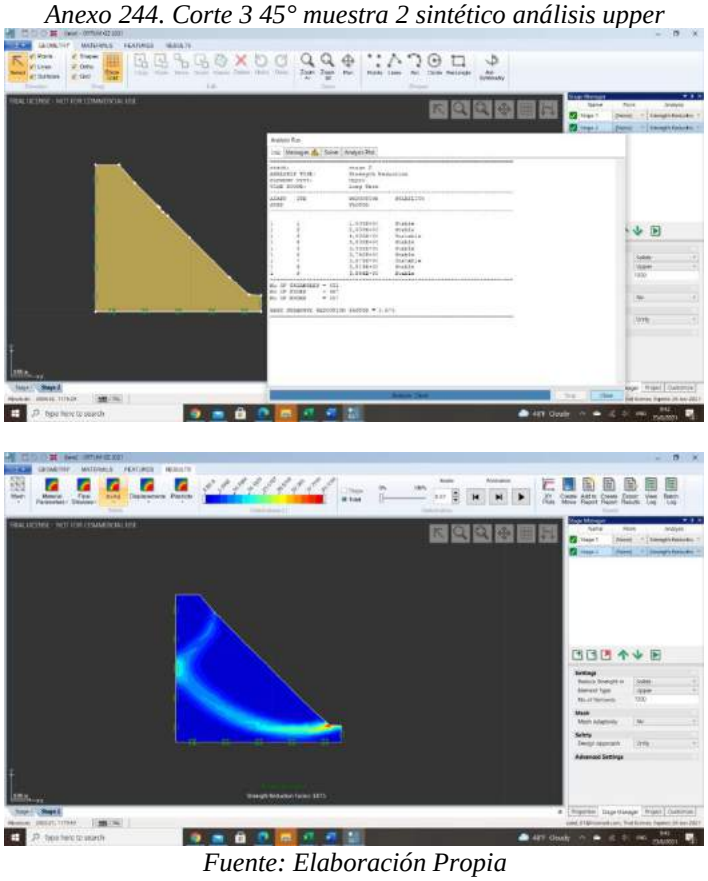
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 243. Corte 3 45° muestra 2 sintético análisis lower



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 244. Corte 3 45° muestra 2 sintético análisis upper



Fuente: Elaboración Propia