PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

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

ENSAYO DE GERMINACIÓN PARA GEOMANTOS (MANTOS DE CONTROL DE EROSIÓN) TEMPORALES Y PERMANENTES UTILIZANDO VETIVER PARA EL CONTROL DE EROSIÓN DE TALUDES DE QUITO

SHERILYN NATASHA MEJIA LOOR

DIRECTOR: ING. JORGE ALBÚJA. MSC.

QUITO, FEBRERO DE 2022

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 dónde 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: SHERILYN NATASHA MEJIA LOOR. **ID:** 1721745923

Firma: 

AGRADECIMIENTO

Primeramente, quiero agradecer a Dios y a la Virgen María por darme un día más de vida, por mantener con salud y bienestar a mis seres queridos y a mi persona, y por las bendiciones que he tenido a lo largo de mi preparación universitaria que pronto me encontrare culminando con éxito.

Quiero expresar mi gratitud al Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador por abrirme las puertas de sus instalaciones y brindarme un espacio físico para la realización de los ensayos, a mi director de tesis Ing. Jorge Albuja por su ayuda y asesoría en toda la ejecución de este proyecto de disertación, a mis Ingenieros Lectores del área de Suelos, Ing. Guillermo Realpe y Ing. Juan Carlos Montero por la asesoría a lo largo de este proyecto de disertación y a mis compañeros Said Onofa y Rosario Villalba por la apertura y por la ayuda que me supieron dar a lo largo de mi investigación.

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta investigación a toda mi familia, que siempre soñó junto a mi cumplir este gran sueño de toda mi vida, a mis padres Freddy Mejía y Alexandra Loor que siempre fueron mi ejemplo a seguir de lucha y dedicación, a mi hermanita Melany Mejía que es mi razón de ser y mi amiga incondicional y a mi amado novio Klever Molina que es mi fuente de inspiración y el hombre que me motiva a ser mejor cada día. Sin ustedes no sería la mujer que soy hoy.

RESUMEN

Los taludes son superficies inclinadas con respecto al plano horizontal. Son proyectos importantes de primer nivel ya que contribuyen al desarrollo de las carreteras y áreas urbanas. Los taludes son propensos a deslizamientos de tierra a causa del cambio de la naturaleza del suelo por factores como la geometría, geología e ingeniería geotécnica. En la presente investigación se realizó un estudio sobre el control de erosión en taludes modelados a escala con un ángulo de inclinación de 30° y 45°, con suelo estándar (arena) bajo la influencia de la precipitación y escorrentía. Se obtiene una clasificación, determinación del tipo y características del suelo mediante los ensayos de suelo siguiendo las normas ASTM D2216 y ASTM D2487. Luego se obtienen los valores de fábrica de las características físicas y mecánicas de los geomantos temporales y permanentes, estos valores deben cumplir con las normas ASTM D4533, ASTM D4632, ASTM D4833, ASTM D6475, ASTM D6525, ASTM D6566 y ASTM D6818. Elaboramos los taludes modelados con el suelo y geomanto, luego se realizan los ensayos de germinación con el pasto Vetiver en los taludes modelados siguiendo la norma ASTM D7322. Todos estos ensayos se llevaron a cabo en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de Construcción de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Después de haber efectuado los ensayos pertinentes a cada una de las posibles variables de investigación y una vez conocidas sus propiedades, se procedió a ejecutar el ensayo de precipitación y escorrentía en dónde se adaptó y se usó como base la norma ASTM D7101, dónde se elabora una estructura de riego que recrea la precipitación en los taludes modelados. Se estudió el comportamiento del geomanto temporal y permanente con el vetiver en el control de erosión, conformado por dos taludes modelados con pendientes de 30° y 45° con una precipitación uniforme en un mismo periodo de tiempo. Con los resultados obtenidos se elaboró un análisis comparativo entre los diferentes geomantos frente al ensayo de precipitación y germinación, se estudió cómo fue la interacción (suelo + geomanto + vetiver) con la lluvia simulada y el desempeño del vetiver en el control de erosión.

Palabras clave:

Talud, Control de erosión, Deslizamientos, Precipitación y Escorrentía.

ABSTRACT

Slopes are sloping surfaces with respect to the horizontal plane. They are important first level projects since they contribute to the development of highways and urban áreas. Slopes are prone to landslides due to changes in the nature of the soil by factors such as geometry, geology, and geotechnical engineering. In the present investigation, a study was carried out on erosión control in scale modeled slopes with an inclination angle of 30 ° and 45 °, with standard soil (sand) under the influence of precipitation and runoff. A classification, determination of the type and characteristics of the soil is obtained through soil tests following the ASTM D2216 and ASTM D2487 standards. Then the factory values of the physical and mechanical characteristics of the temporary and permanent geomants are obtained, these values must comply with the ASTM D4533, ASTM D4632, ASTM D4833, ASTM D6475, ASTM D6525, ASTM D6566 and ASTM D6818 standards. We elaborate the modeled slopes with the soil and geomanto, then germination tests are carried out with Vetiver grass on the modeled slopes following the ASTM D7322 standard. All these tests were carried out in the Soil Mechanics and Construction Materials laboratory of the Pontificia Universidad Católica del Ecuador. After having carried out the pertinent tests for each of the possible research variables and once their properties were known, the precipitation and runoff test was carried out where the ASTM D7101 standard was adapted and used as a basis, where it is elaborated. an irrigation structure that recreates precipitation on modeled slopes. The behavior of the temporary and permanent geomat was studied with vetiver in erosión control, consisting of two modeled slopes with slopes of 30° and 45° with uniform precipitation in the same period. With the results obtained, a comparative analysis was made between the different geomanths compared to the precipitation and germination test, it was studied how was the interaction (soil + geomanth + vetiver) with the simulated rain and the performance of vetiver in erosión control.

Keywords:

Slope, Erosión Control, Landslides, Precipitation and Runoff.

CONTENIDO

1. CAPITULO I 37

1.1 Introducción 37

1.2 Justificación 38

1.3 Alcance 39

1.4 Disposición del plan 40

1.5 Objetivos 41

1.5.1 Objetivo general 41

1.5.2 Objetivos específicos 41

2. CAPITULO II: SUELOS 42

2.1 Suelo 42

2.2 Mecánica de suelos 42

2.3 Descripción cualitativa de suelo 42

2.3.1 Origen del suelo 43

2.3.2 Características de las partículas de los suelos 43

2.3.2.1 Degradación: 43

2.3.2.2 Textura: 44

2.3.2.3 Angularidad y redondez: 45

2.3.3 Fases del suelo 45

2.3.4 Propiedades del suelo 46

2.4 Descripción cuantitativa del suelo 46

2.4.1 Relaciones fundamentales 46

2.4.2 Límites de Atterberg 49

2.4.2.1 Limite líquido 50

2.4.2.2 Limite plástico 51

2.4.2.3 Índice de plasticidad 52

2.4.3 Granulometría 53

2.4.3.1 Granulometría por tamizado 53

2.4.3.2 Granulometría por hidrómetro 54
2.4.4 Proctor estándar 54

2.5 Ensayos de suelos 55
2.5.1 Ensayo ASTM D2216 56
2.5.2 Ensayo ASTM C136 56
2.5.2.1 Por tamices 56
2.5.2.2 Tipos de graduación 58
2.5.2.3 Por hidrómetro 58
2.5.3 Ensayo ASTM D 2487 59
2.5.4 Ensayo ASTM D 698 60

2.6 Esfuerzo de corte del suelo 60
2.6.1.1 Esfuerzo normal efectivo del suelo 61
2.6.1.2 Angulo de fricción del suelo 62
2.6.1.3 Cohesión del suelo 63
2.6.1.4 Presión de poros 64
2.6.1.5 Succión 65
2.6.1.6 Coeficiente de permeabilidad 65

2.7 Suelo del talud modelado 65
2.7.1 Formaciones geológicas de San Antonio de Pichincha 65
2.7.2 Suelo de San Antonio de Pichincha 66

2.8 Suelo estándar 67

3. CAPÍTULO III: TALUDES 69

3.1 Talud 69

3.2 Tipos de taludes 69

3.3 Partes del talud 70

3.4 Deslizamientos de suelo en taludes 70
3.4.1 Resistencia al esfuerzo cortante como causa de deslizamiento 70
3.4.2 Causas físicas de deslizamientos 71
3.4.3 Causas naturales de deslizamientos 71
3.4.4 Causas humanas de deslizamientos 71
3.4.5 Tipos de deslizamientos de suelo en taludes 71

3.4.6 Geomantos e hidrosiembra de vetiver en el control de erosión y fallas de taludes 73

3.5 Talud modelado 74

3.5.1 Ejemplo de taludes modelados 74

4. CAPÍTULO IV: PRECIPITACIÓN 75

4.1 Precipitación 75

4.1.1 Lluvias promedio y máximas anuales 75

4.1.2 Régimen de lluvias 75

4.1.3 Lluvias acumuladas 75

4.1.4 Formación de la precipitación 76

4.1.5 Clasificación de la precipitación 76

4.1.6 Tipos de hidrometeoros 77

4.1.7 Parámetros de precipitación 78

4.2 Aparatos de medida de precipitación 78

4.2.1 Pluviómetro 78

4.2.2 Pluviógrafo 79

4.2.2.1 Tipos de pluviógrafo 79

4.2.3 Unidades de medida 79

4.3 Ciclo hidrológico en el talud 80

4.3.1 Infiltración 80

4.3.1.1 Factores de infiltración 80

4.3.1.2 Tiempo de lluvia que genera infiltración 81

4.3.1.3 Humedad superficial que genera infiltración 81

4.3.2 Escorrentía 81

4.3.2.1 Tipos de escorrentía 81

4.3.2.2 Ciclo de la escorrentía 82

4.3.2.3 Factores que intervienen en la escorrentía 82

4.3.2.4 Cálculo de la escorrentía con datos de aforo 83

4.3.2.5 Cálculo de la escorrentía con el coeficiente de escorrentía 83

4.3.2.6 Variables que inciden en la escorrentía superficial 83

4.3.2.7 Tiempo de concentración 85

4.3.2.8 Periodo de retorno 86

4.3.2.9 Altura de agua 86

4.4 Ensayo de precipitación (ASTM D 7101) 86

4.5 Aparato de riego por goteo 87
4.5.1 Características del aparato de riego por goteo 87
4.5.2 Tipos de aparatos de riego por goteo 89
4.5.2.1 Aparatos goteadores 89
4.5.2.2 Aparatos pulverizadores 89
4.5.3 Ventajas y desventajas de los aparatos de riego 90
4.5.4 Evaluación de la erosión usando un aparato de riego por goteo 90
4.5.5 Descripción de las partes del aparato de riego por goteo 91
4.5.6 Especificaciones técnicas del aparato de riego por goteo 92
4.5.7 Calibración del aparato de riego por goteo 94
4.5.8 Procedimiento del uso del aparato de riego por goteo 94

4.6 Precipitación de Ecuador 96

4.7 Precipitación total mensual de Quito 97
4.7.1 Precipitación total mensual de Quito en el 2021 104
4.7.2 Tipos de escurrimiento en Quito 104

4.8 Temperatura de Ecuador 105

4.9 Temperatura media mensual de Quito 105
4.9.1 Temperatura media mensual de Quito en el 2021 109

5. CAPÍTULO V: EROSIÓN 110

5.1 Erosión 110
5.1.1 Proceso hidro geoquímico de erosión 110
5.1.2 Tipos de erosión 111
5.1.2.1 Erosión eólica 111
5.1.2.2 Erosión hídrica 112
5.1.3 Factores que intervienen en la erosión 112
5.1.4 Tipos de erosión hídrica 113
5.1.5 Mecanismos de erosión 114
5.1.5.1 Tipos de escurrimiento 115
5.1.6 Procesos de la erosión hídrica 115
5.1.7 Medición de la erosión 116
5.1.8 Modelos de estimación de erosión 117
5.1.8.1 Ecuación universal de perdida de suelo (RUSLE) 117

5.1.8.2 Factor de erosión por la lluvia (R) ... 118
5.1.8.3 Factor de erosión del suelo (K) ... 119
5.1.8.4 Factor de longitud del terreno (L) y factor de pendiente del terreno (S) ... 119
5.1.8.5 factor de cobertura y manejo de vegetación (C) ... 120
5.1.8.6 factor de prácticas de conservación (P) ... 121
5.1.8.7 Volumen erosionado ... 121
5.1.8.8 Altura del material erosionado ... 121
5.1.8.9 Estimación de la erosión por síntomas ... 121

5.2 Erosión en el Ecuador ... 122
5.2.1 Clases de intensidad de erosión en Ecuador ... 123
5.2.2 Procesos erosivos muy activos y activos en Ecuador ... 124
5.2.3 Procesos erosivos activos y potenciales en Ecuador ... 124
5.2.4 Procesos erosivos potenciales en Ecuador ... 124
5.2.5 Causas de erosión en Ecuador ... 124
5.2.6 Factores que influyen en la erosión en Ecuador ... 125

6. CAPÍTULO VI: MANTOS DE CONTROL DE EROSIÓN ... 126

6.1 Métodos para formar taludes ... 126
6.1.1 Conformación del talud ... 126
6.1.2 Recubrimiento de la superficie del talud ... 126
6.1.3 Control de agua superficial y subterránea del talud ... 127
6.1.4 Estructuras de contención del talud ... 128
6.1.5 Mejoramiento de suelo del talud ... 129

6.2 Geomantos ... 129
6.2.1 Aplicaciones de geomantos ... 130
6.2.2 Usos de geomantos ... 131
6.2.3 Ventajas de geomantos ... 131
6.2.4 Tipos de geomantos ... 132
6.2.4.1 Rolled erosión control product (RECPs) ... 132
6.2.4.2 Turf reinforcement mats (TRMs) ... 133
6.2.4.3 Por tipo de material ... 133
6.2.4.4 Por su duración ... 134
6.2.5 Propiedades físicas y mecánicas de los geomantos ... 135

6.3 Geomantos temporales y permanentes disponibles en Ecuador ... 136
6.3.1 Propiedades del geomanto permanente establecidos por el fabricante Pivaltec ... 136

6.3.2 Propiedades de geomanto temporal establecidos por el fabricante Pivaltec 137

6.4 Instalación de geomantos 138

6.4.1 Preparación del terreno 138
6.4.2 Siembra de cobertura vegetal 139
6.4.3 Cubrir la superficie con el geomanto 139
6.4.4 Corte del geomanto y relleno de las trincheras 140
6.4.5 Aseguramiento en las juntas y bordes 140
6.4.6 Colocación de grapas intermedias 140
6.4.7 Riego permanente 141
6.4.8 Esquema general de instalación 141

7. CAPÍTULO VII: VETIVER 142

7.1 Vegetación en el talud 142

7.1.1 Efectos de la vegetación en el talud 142
7.1.2 Factores determinantes del uso de vegetación en el talud 143
7.1.3 Método de revegetación (uso de vegetación en el talud) 143

7.2 Vetiver (Chrysopogon zizanioides) 144

7.2.1 Sistema vetiver (SV) 144
7.2.2 Origen del Vetiver 144
7.2.3 Usos y aplicaciones del Vetiver 145
7.2.4 Beneficios del Vetiver 145
7.2.5 Características del Vetiver 145
7.2.5.1 Características físicas y fisiológicas del vetiver 146
7.2.5.2 Características del vetiver para control de erosión 146
7.2.6 Comportamiento del Vetiver en climas fríos 147
7.2.7 Rango de adaptabilidad del vetiver 147
7.2.8 Cultivo de Vetiver 148
7.2.9 Vetiver en el control de erosión 149
7.2.10 Penetración del Vetiver 150
7.2.11 Resistencia de la raíz de Vetiver a tensión 151
7.2.12 Resistencia de la raíz de Vetiver al arranque 153

7.3 Vetiver en varios países del mundo 153

7.3.1.1 Vetiver en Latinoamérica 153
7.3.1.2 Vetiver en Indonesia 154
7.3.1.3 Vetiver en India 154

7.3.1.4 Vetiver en Nigeria 154

7.4 Vetiver en Ecuador 155

8. CAPÍTULO VIII: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN 156

8.1 Metodología de pre-investigación 156

8.1.1 Generalidades 156

8.1.2 Pre-investigación 156

8.1.3 Enfoque de la investigación 156

8.1.3.1 El enfoque cuantitativo 157

8.1.4 Identificación y operacionalización de variables 158

8.1.4.1 Variable dependiente: Erosión del suelo y germinación de vetiver 158

8.1.4.2 Variable independiente: Precipitación y geomantos 158

8.1.5 Población 159

8.1.6 Muestra y muestreo 159

8.1.7 Técnicas de recolección de datos 160

8.1.8 Instrumentos de recolección de datos 160

8.1.8.1 Técnicas de procesamientos de datos 161

8.1.8.2 Herramientas para el procesamiento de datos 161

8.2 Metodología aplicada al sistema en estudio 161

8.2.1 Desarrollo de la metodología para simulaciones experimentales 161

8.2.1.1 Elección del material 161

8.2.1.2 Estructura de confinamiento del talud 161

8.2.1.3 Pendiente del talud 164

8.2.1.4 Compactación del talud con Proctor estándar 165

8.2.1.5 Tallado del suelo del talud 166

8.2.1.6 Cultivo de vetiver 167

8.2.1.7 Instalación de geomantos 169

8.2.1.8 Instalación y calibración del aparato de riego por goteo 170

8.2.2 Método de prueba y error 171

8.2.3 Simulador de condiciones atmosféricas 172

9. CAPÍTULO IX: ENSAYOS DE SUELOS 174

9.1 Clasificación manual visual 174

9.2 Peso unitario 174

9.3 Contenido de Humedad 175

9.4 Granulometría 175

9.5 Compactación estándar 176

9.6 Ensayo de suelo estándar 180

9.6.1 Ensayo ASTM D 5268 180

9.6.2 Ensayo ASTM D 6459 181

10. CAPÍTULO X: ENSAYOS DE GEOMANTOS 181

10.1 Tracción y elongación a la rotura (ASTM D6818) 182

10.1.1 Ensayo de tracción y elongación a la rotura del geomanto temporal (GMAT VT400) 182

10.1.1.1 Sentido longitudinal 182

10.1.1.2 Sentido transversal 184

10.1.2 Ensayo de tracción y elongación a la rotura del geomanto permanente (GMAT-DS310) 185

10.1.2.1 Sentido longitudinal 185

10.1.2.2 Sentido transversal 187

10.2 Ensayo de la masa por unidad de área (ASTM D6475) 188

10.2.1 Ensayo de masa por unidad de área del geomanto temporal (GMAT-VT400) 188

10.2.2 Ensayo de masa por unidad de área del geomanto permanente (GMAT-DS310) 189

11. CAPÍTULO XI: ENSAYOS DE GERMINACION 190

11.1 Separación y cultivo de brotes de vetiver 191

11.2 Riego de brotes del vetiver 192

11.3 Toma de longitudes y pesos del vetiver 194

12. CAPÍTULO XII: ENSAYOS DE PRECIPITACIÓN 198

12.1 Descripción del aparato de riego por goteo 198

12.1.1 Estructura del aparato 198

12.1.2 Procedimiento de calibración del aparato de riego por goteo 201

12.2 Climatología de Quito en el mes del ensayo de precipitación 202

12.3 Descripción y características los taludes frente al ensayo de precipitación 202
12.3.1 Taludes sin recubrimiento 202
12.3.2 Taludes con vetiver 203
12.3.3 Taludes con geomantos y vetiver 203

12.4 Calibración del Aparato de riego por goteo 204
12.4.1 Resultados de calibración del aparato de riego por goteo 205

12.5 Instalación y simulación de lluvia con el aparato de riego por goteo en el área de prueba 206

12.6 Recolección de datos 207

12.7 Resultados obtenidos 208
12.7.1 Resultados de infiltración 208
12.7.2 Resultados de escorrentía 210
12.7.3 Resultados de erosión 211

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 216

13.1 Conclusiones 216
13.1.1 Erosión vs días del geomanto permanente (GMAT DS310) con vetiver 216
13.1.1.1 Erosión vs días con [geomanto permanente (GMAT DS310) (Villalba, 2021)] vs con [geomanto permanente (GMAT DS310) + vetiver] 216
13.1.2 Erosión vs días del geomanto temporal (GMAT VT400) con vetiver 217
13.1.2.1 Erosión vs días con [geomanto temporal (GMAT VT400) (Villalba, 2021)] vs con [geomanto temporal (GMAT VT400) + vetiver] 218
13.1.2.2 Erosión vs días con geomanto temporal + vetiver [creación propia vs (Escobar M. , 2014)] 218
13.1.3 Escorrentía vs días del geomanto permanente (GMAT DS310) con vetiver 219
13.1.3.1 Escorrentía vs días con [geomanto permanente (GMAT DS310) (Villalba, 2021)] vs con [geomanto permanente (GMAT DS310) + vetiver] 220
13.1.4 Escorrentía vs días del geomanto temporal (GMAT VT400) con vetiver 220
13.1.4.1 Escorrentía vs días con [geomanto temporal (GMAT VT400) (Villalba, 2021)] vs con [geomanto temporal (GMAT VT400) + vetiver] 221
13.1.4.2 Escorrentía vs días con geomanto temporal + vetiver [creación propia vs (Escobar M. , 2014)] 222
13.1.5 Infiltración vs días del geomanto permanente (GMAT DS310) con vetiver 223

13.1.5.1 Infiltración vs días con [geomanto permanente (GMAT DS310) (Villalba, 2021)] vs con [geomanto permanente (GMAT DS310) + vetiver] 223
13.1.6 Infiltración vs días del geomanto temporal (GMAT VT400) con vetiver 224
13.1.6.1 Infiltración vs días con [geomanto temporal (GMAT VT400) (Villalba, 2021)] vs con [geomanto temporal (GMAT VT400) + vetiver] 224
13.1.6.2 Infiltración vs días con geomanto temporal + vetiver [creación propia vs (Escobar M. , 2014)] 225
13.1.7 Longitudes y pesos del vetiver 226

13.2 Recomendaciones 229

14. BIBLIOGRAFÍA 229

15. ANEXOS 247

15.1 Taludes 247
15.1.1 Taludes antes de la simulación de lluvia 247
15.1.2 Taludes después de la simulación de lluvia 250

15.2 Geomantos 252
15.2.1 Geomanto GMAT VT400 252
15.2.2 Geomanto GMAT DS310 252

15.3 Registro diario del riego de taludes con el simulador de lluvia 253
15.3.1 Talud de 30° 253
15.3.2 Talud de 45° 259

15.4 Infiltración, escorrentía y erosión acumulada 265
15.4.1 Infiltración acumulada 265
15.4.2 Escorrentía acumulada 265
15.4.3 Erosión acumulada 266
15.4.4 Datos de Infiltración, escorrentía y erosión acumulada (Villalba, 2021) adaptadas a la precipitación de esta investigación 266
15.4.5 Datos de Infiltración, escorrentía y erosión acumulada (Escobar M. , 2014) adaptadas a la precipitación de esta investigación 267

15.5 Gráficas 269
15.5.1 Gráficas de infiltración vs días 269
15.5.1.1 Talud de 30° 269

15.5.2 Talud de 45° 269

15.6 Graficas de escorrentía vs días 270

15.6.1 Talud de 30° 270

15.6.2 Talud de 45° 271

15.7 Graficas de erosión vs días 271

15.7.1 Talud de 30° 271

15.7.2 Talud de 45° 272

15.8 Cronograma 272

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: angularidad y redondez del suelo 45
Figura 2: fases del suelo 45
Figura 3: relaciones volumétricas y gravimétricas del suelo 46
Figura 4:Densidad relativa del suelo 49
Figura 5: gravedad especifica 49
Figura 6:Estados del suelo según su humedad 50
Figura 7: ensayo de limite liquido 51
Figura 8: limite plástico 51
Figura 9: grado de plasticidad de diferentes suelos 52
Figura 10: límites de Atterberg según el tipo de suelo 52
Figura 11: Carta de plasticidad (índice de plasticidad vs limite liquido) 52
Figura 12: abertura del tamiz 53
Figura 13: Granulometría por hidrómetro para partículas finas 54
Figura 14:Curva de compactación del Proctor estándar 55
Figura 15: masa mínima para el ensayo ASTM D 2216 56
Figura 16: Grafica de granulometría 58
Figura 17: Suelo bien graduado 58
Figura 18: Suelo mal graduado 58
Figura 19: Suelo con graduación discontinua 58
Figura 20: clasificación de suelo 59
Figura 21: circulo, envolvente de falla y criterio de rotura de Mohr 61
Figura 22:valores referenciales de densidad relativa o consistencia del suelo 62
Figura 23: cohesión del suelo 63
Figura 24:a) No saturado (tensión de agua en poros une las partículas) y b) Saturado (tensión de agua en poros separa las partículas) 64
Figura 25:tamaño de poros y coeficiente de permeabilidad en varios suelos 65
Figura 26: formaciones geológicas de San Antonio de Pichincha 66
Figura 27: suelo de San Antonio de Pichincha 66
Figura 28: textura del suelo de San Antonio de Pichincha (suelo franco arenoso) 67
Figura 29:parámetros del suelo estándar 68
Figura 30:clasificación de taludes 69
Figura 31: partes del talud 70

Figura 32:resistencia al esfuerzo cortante como causas de deslizamientos 70
Figura 33:Causas naturales de deslizamientos 71
Figura 34:fallas de taludes 73
Figura 35: talud modelado de la investigación 74
Figura 36:formación de la precipitación 76
Figura 37: precipitación convectiva 77
Figura 38: precipitación orográfica 77
Figura 39: Pluviógrafo 79
Figura 40:infiltrómetro 80
Figura 41: Evolución temporal del ciclo hidrológico. 82
Figura 42: tabla de Prevert para el coeficiente de escorrentía 84
Figura 43: K1, K2 y K3. 84
Figura 44:diámetro de la gota vs intensidad 88
Figura 45: velocidad máxima vs diámetro de la gota 88
Figura 46: Energía cinética vs intensidad de Zimbabwe (Hudson); India (Kelkar); Trinidad (Ker); Japón (Mihara) y Estados Unidos (Wischmeier) 88
Figura 47:Velocidad de caída de las gotas de lluvia según el tamaño y altura. 89
Figura 48: aparato de riego por goteo 89
Figura 49:Aparato pulverizador de movimiento alternativo 90
Figura 50:Brazos giratorios que transportan lanzas 90
Figura 51: aparato de riego por goteo referencial 91
Figura 52: vista en 3D del aparato de riego por goteo que usaremos 91
Figura 53: partes de regadera referencial 92
Figura 54: vista en 3D de la regadera a usarse 92
Figura 55: dimensiones de regadera (0.42 m x 0.42 m x 0.03 m) 92
Figura 56: diámetro de aperturas (2.4 mm), 13 aperturas de 2.4mm cada 3mm de separación 92
Figura 57: reservorio (0.20 m x 0.20 m x 0.22 m) 93
Figura 58: a) [escorrentía (mm/h) vs tiempo (s)] y b) [sedimentos (gr) vs tiempo (s)] 95
Figura 59: tasa de infiltración (mm/h) vs tiempo (s) 95
Figura 60: Valores de coeficiente de rozamiento según LAWS (1941) y velocidad de caída calculada para los diferentes tamaños de gota. 96
Figura 61:precipitación anual en Ecuador 97

Figura 62:mapa de isoyeta de precipitación de Quito 97
Figura 63:mapa de estaciones meteorológicas de Quito 98
Figura 64: Estación meteorológica de Izo bamba (M0003) 98
Figura 65:Estación meteorológica de Iñaquito (M0024) 99
Figura 66:Estación meteorológica La Tola (M0002) 99
Figura 67:Ubicación de la estación meteorológica de Iñaquito (M0024) 100
Figura 68:Precipitación total diaria de la estación meteorológica de Iñaquito (M0024) 103
Figura 69: temperatura en Ecuador 105
Figura 70:temperatura promedio de las parroquias de Quito 105
Figura 71:Proceso hidro geoquímico de erosión 111
Figura 72:erosión laminar 113
Figura 73: impacto de la gota de lluvia en el suelo 114
Figura 74: escorrentía 115
Figura 75:procesos erosivos del suelo 116
Figura 76: agujas de erosión 116
Figura 77: rangos de erosión de suelo 118
Figura 78: factor K usando el nomograma de Wischmeier y Smith (1978). 119
Figura 79: factor L y S. 119
Figura 80: factor C 120
Figura 81: Mapa de las principales zonas erosionables del Ecuador. 123
Figura 82: conformación del talud 126
Figura 83: control de agua superficial y subterránea del talud 128
Figura 84: contención del talud 128
Figura 85: mejoramiento de suelo del talud 129
Figura 86: RECPs y TRMs 132
Figura 87: Evaluación de propiedades de geomantos 136
Figura 88: preparación del terreno 139
Figura 89: superficie del geomanto y anclaje del borde de los mantos 139
Figura 90:anclaje 139
Figura 91: Corte del geomanto y relleno de zanjas 140
Figura 92: Traslapes y juntas 140
Figura 93: Aseguramiento del manto 141

Figura 94: Riego y mantenimiento..... 141
Figura 95: Esquema general de instalación del manto para control de erosión..... 141
Figura 96: separación del vetiver en sentido vertical según la pendiente del talud ... 149
Figura 97: Vetiver en el control de erosión mínima por escorrentía..... 149
Figura 98: a) talud erosionado y b) vetiver controlando la erosión del talud 150
Figura 99: mm de escorrentía con y sin Vetiver 150
Figura 100:Largo de tallo y raíz de vetiver en la investigación..... 155
Figura 101: vista frontal del molde del suelo del talud..... 162
Figura 102: vista en planta de la vista frontal del molde del suelo del talud 162
Figura 103: vista lateral del molde del suelo del talud 162
Figura 104: vista en perfil de la vista lateral del molde del suelo del talud..... 163
Figura 105: bloques de hormigón (20cm x 20cm x 40cm)..... 163
Figura 106: vista en 3D del molde de suelo del talud elaborado con bloques de hormigón 163
Figura 107: vista en 3D de los moldes de suelo del talud con la pendiente de 30° y 45° 163
Figura 108: taludes con pendiente de 30° 164
Figura 109: taludes con pendiente de 45° 164
Figura 110:Norma de compactación de rellenos..... 166
Figura 111:dimensiones de regadera cuadrado (42 cm x 42 cm x 2.5 cm)..... 198
Figura 112:dimensiones del cubo de almacenamiento (20 cm x 20 cm x 22 cm) 198
Figura 113:orificios de la regadera 199

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: origen del suelo 43
Ilustración 2: fases del suelo 45
Ilustración 3:propiedades del suelo 46
Ilustración 4:límites de Atterberg 50
Ilustración 5:pasante del tamiz N° 200 para clasificación SUCS 59
Ilustración 6: tipos de taludes 69
Ilustración 7: partes del talud 70
Ilustración 8:Causas físicas de deslizamientos 71
Ilustración 9:Causas humanas de deslizamientos 71
Ilustración 10: parámetros de la precipitación 78
Ilustración 11:factores de infiltración 80
Ilustración 12:factores que intervienen en la humedad superficial 81
Ilustración 13: tipos de escorrentía 81
Ilustración 14: factores que intervienen en la escorrentía. 82
Ilustración 15: usos del aparato 91
Ilustración 16:precipitación media anual (mm) de la estación M0024 101
Ilustración 17:precipitación media mensual (mm) de la estación M0024 101
Ilustración 18:precipitación mínima mensual (mm) de la estación M0024 102
Ilustración 19:precipitación máxima mensual (mm) de la estación M0024 102
Ilustración 20:precipitación mensual media, mínima y máxima (mm) de la estación M0024 103
Ilustración 21:precipitación media mensual de la estación M0024 en el 2021 104
Ilustración 22: tipos de escurrimiento en Quito 104
Ilustración 23:Temperatura media anual (°C) de la estación M0024 107
Ilustración 24:Temperatura media mensual (°C) de la estación M0024 107
Ilustración 25:temperatura mínima mensual (°C) de la estación M0024 107
Ilustración 26:temperatura máxima mensual (°C) de la estación M0024 108
Ilustración 27:temperatura mensual media, mínima y máxima (°C) de la estación M0024 108
Ilustración 28:temperatura media mensual (°C) de la estación M0024 del 2021 109
Ilustración 29:erosividad de la lluvia 110
Ilustración 30: factores que intervienen en la erosión 112

Ilustración 31: tipos de erosión hídrica. 113
Ilustración 32: procesos erosivos del suelo. 115
Ilustración 33: medidas de la erosión 116
Ilustración 34: muy activos y activos 124
Ilustración 35: activos y potenciales 124
Ilustración 36:potenciales 124
Ilustración 37: características del suelo 125
Ilustración 38: topografía 125
Ilustración 39: cubierta vegetal 125
Ilustración 40: cubierta vegetal 125
Ilustración 41:forma del talud 126
Ilustración 42: aplicaciones de geomantos 130
Ilustración 43: usos de geomantos 131
Ilustración 44: ventajas de geomantos 131
Ilustración 45: efectos de la vegetación en un talud 142
Ilustración 46: factores determinantes del uso de vegetación en el talud 143
Ilustración 47: usos del vetiver 145
Ilustración 48:beneficios del Vetiver 145
Ilustración 49:Grupos de taludes 160
Ilustración 50: Curva granulométrica 176
Ilustración 51:curva de compactación 178
Ilustración 52:Infiltración acumulada del talud de 30° con geomanto temporal y permanente 209
Ilustración 53:Infiltración acumulada del talud de 45° con geomanto temporal y permanente 209
Ilustración 54:Escorrentía acumulada del talud de 30° con geomanto temporal y permanente 210
Ilustración 55:Escorrentía acumulada del talud de 45° con geomanto temporal y permanente 210
Ilustración 56:Erosión acumulada del talud de 30° con geomanto temporal y permanente 212
Ilustración 57:Erosión acumulada del talud de 45° con geomanto temporal y permanente 212

Ilustración 58:Resultados de erosión de taludes de 30° y 45° 219
Ilustración 59:Resultados de escorrentía de taludes de 30° y 45°..... 222
Ilustración 60:Resultados de infiltración de taludes de 30° y 45° 226
Ilustración 61:Resultados de longitud del brote de vetiver de taludes de 30° y 45°.. 228
Ilustración 62:Resultados de longitud de la raíz de vetiver de taludes de 30° y 45° . 228
Ilustración 63:Resultados del peso de vetiver de taludes de 30° y 45°..... 228
Ilustración 64:Infiltración acumulada del talud de 30° con geomanto permanente... 269
Ilustración 65:Infiltración acumulada del talud de 30° con geomanto temporal 269
Ilustración 66:Infiltración acumulada del talud de 45° con geomanto permanente... 269
Ilustración 67:Infiltración acumulada del talud de 45° con geomanto temporal 270
Ilustración 68:Escorrentía acumulada del talud de 30° con geomanto permanente .. 270
Ilustración 69:Escorrentía acumulada del talud de 30° con geomanto temporal 270
Ilustración 70:Escorrentía acumulada del talud de 45° con geomanto permanente .. 271
Ilustración 71:Escorrentía acumulada del talud de 45° con geomanto temporal 271
Ilustración 72:Erosión acumulada del talud de 30° con geomanto permanente 271
Ilustración 73:Erosión acumulada del talud de 30° con geomanto temporal..... 272
Ilustración 74:Erosión acumulada del talud de 45° con geomanto permanente 272
Ilustración 75:Erosión acumulada del talud de 45° con geomanto temporal..... 272

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1: suelo 42
Fotografía 2: talud 69
Fotografía 3:Precipitación 75
Fotografía 4:Pluviómetro 78
Fotografía 5: aparato de riego por goteo 87
Fotografía 6: perfil metálico 93
Fotografía 7: recolector 93
Fotografía 8: erosión 110
Fotografía 9:erosión en surcos 113
Fotografía 10: parcelas de erosión 116
Fotografía 11:Óxido de hierro magnético de trazadores y evaluación de huellas 117
Fotografía 12: recubrimiento del talud 127
Fotografía 13: geomantos 130
Fotografía 14:RECPs 132
Fotografía 15:TRMs 133
Fotografía 16: geomantos temporales 134
Fotografía 17: geomantos permanentes 135
Fotografía 18: geomanto permanente GMAT DS310 137
Fotografía 19: geomanto temporal GMAT VT400 137
Fotografía 20:Vetiver 144
Fotografía 21: Vetiver en taludes 146
Fotografía 22: cultivo de Vetiver 148
Fotografía 23: ensayo de tracción de la raíz del vetiver 153
Fotografía 24: taludes Indonesia 154
Fotografía 25: Vetiver en el cerro Anconcito, Santa Elena 155
Fotografía 26:Descarga de material para conformación de taludes 165
Fotografía 27:muestras de suelo para el control de humedad 165
Fotografía 28:Hidratación del suelo para llegar a su densidad máxima una vez compactado. 165
Fotografía 29: sapo compactador usado en la compactación del suelo cada 20 cm. . 166
Fotografía 30: tallado y nivelación de la muestra con un ángulo de 45º. 166
Fotografía 31:tallado y nivelación de la muestra con un ángulo de 30º. 167

Fotografía 32: mezcla de la tierra fértil para el cultivo de vetiver 167
Fotografía 33:clasificación de brotes de vetiver, lado izquierdo: brotes secos y lado derecho: brotes frescos. Fuente: creación propia 167
Fotografía 34:pala de siembra, estaca y combo metálicos 168
Fotografía 35:agujero para cultivar el vetiver 168
Fotografía 36:cultivar del vetiver 168
Fotografía 37:agujeros en el talud de 30°. 168
Fotografía 38: agujeros en el talud de 45°. 169
Fotografía 39: Grapas de anclaje 169
Fotografía 40:geomantos y grapas en el talud de 30° 170
Fotografía 41:geomantos y grapas en el talud de 45° 170
Fotografía 42:Instalación y calibración del aparato de riego por goteo 170
Fotografía 43:selección de especímenes de geomanto temporal 182
Fotografía 44:ensayo de tracción y elongación a la rotura del geomanto temporal .. 182
Fotografía 45:toma de especímenes del geomanto permanente 185
Fotografía 46:ensayo de tracción y elongación a la rotura del geomanto permanente 185
Fotografía 47: masa por unidad de área del geomanto temporal 188
Fotografía 48:masa por unidad de área del geomanto permanente 189
Fotografía 49:vetiver cultivado en cada agujero 191
Fotografía 50:vetiver con geomanto 192
Fotografía 51:Crecimiento del vetiver en el talud de 30° 192
Fotografía 52:Crecimiento del vetiver en el talud de 45° 192
Fotografía 53:Talud de 45° y 30° sin geomanto 194
Fotografía 54:Vetiver en el talud de 45° y 30° sin geomanto 194
Fotografía 55:6 muestras de vetiver 195
Fotografía 56:Toma de longitudes y peso del vetiver 195
Fotografía 57:Crecimiento de vegetación alrededor del vetiver 197
Fotografía 58: aparato de riego por goteo 198
Fotografía 59:Soporte metálico del aparato de riego por goteo 200
Fotografía 60:Pala recolectara acrílica 200
Fotografía 61:Probeta de 1000 ml 200
Fotografía 62:Recolección de agua en el aparato 200

Fotografía 63:Tamiz #200 201
Fotografía 64: fundas para recolección de sedimentos 201
Fotografía 65:Talud de 30° sin recubrimiento 202
Fotografía 66:Talud de 45° sin recubrimiento 202
Fotografía 67:Talud de 30° con vetiver 203
Fotografía 68:Talud de 45° con vetiver 203
Fotografía 69:Talud de 30° con geomanto y vetiver 203
Fotografía 70:Talud de 45° con geomanto y vetiver 204
Fotografía 71:Calibración del aparato de riego por goteo 204
Fotografía 72:Altura de agua del reservorio 205
Fotografía 73:Instalación del aparato en el área de prueba. 206
Fotografía 74:instalación del recolector de sedimentos. 206
Fotografía 75:Recolección de datos de infiltración, erosión y escorrentía. 207
Fotografía 76:Recolección de datos de erosión (tamizado y recolección del suelo húmedo). 207
Fotografía 77:Recolección de datos de erosión (secado del suelo húmedo) 207
Fotografía 78: talud de 30° después de las simulaciones 214
Fotografía 79:talud de 30° sin geomanto después de las simulaciones 214
Fotografía 80:talud de 45° después de las simulaciones 215
Fotografía 81:talud de 45° sin geomanto después de las simulaciones 215

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: tamaño de partículas finas 44
Tabla 2: tamaño de partículas gruesas 44
Tabla 3:Número de tamices 53
Tabla 4: ensayos del suelo 55
Tabla 5: Tamaño de malla de partículas gruesas 57
Tabla 6: Tamaño de malla de partículas finas 57
Tabla 7:Nomenclatura de cada tipo de suelo 59
Tabla 8: valores referenciales del ángulo de fricción interna del suelo 62
Tabla 9:cohesión de la arena 64
Tabla 10:normas ASTM para verificar si nuestro suelo es estándar 67
Tabla 11:parámetros del suelo estándar 67
Tabla 12:clasificación de deslizamientos según el tipo de movimiento 71
Tabla 13:clasificación de deslizamientos según las condiciones de deformación 72
Tabla 14:clasificación de deslizamientos según las condiciones de presión de poros. 73
Tabla 15:tipos de hidrometeoros 77
Tabla 16:ensayo de precipitación 86
Tabla 17:Ventajas y desventajas del uso de aparatos 90
Tabla 18:intensidad de lluvia en regiones del Ecuador 96
Tabla 19: Precipitación total mensual (mm) de la estación M0024 100
Tabla 20:Precipitación total mensual (mm) de la estación M0024 en el 2021 104
Tabla 21: Temperatura media mensual (°C) de la estación M0024 106
Tabla 22:Temperatura media mensual (mm) de la estación M0024 en el 2021 109
Tabla 23: tipos de erosión 111
Tabla 24:factores que intervienen en la erosión 112
Tabla 25: factor L*S 120
Tabla 26: factor P 121
Tabla 27:estimación de erosión por síntomas 122
Tabla 28: intensidad de procesos erosivos en Ecuador. 122
Tabla 29: factores que influyen en la erosión 125
Tabla 30:Métodos para conformación del talud 126
Tabla 31: Métodos para recubrimiento del talud 127
Tabla 32: Métodos para control de agua superficial y subterránea del talud 127

Tabla 33: Estructuras de contención del talud 128
Tabla 34: Mejoramiento de suelo del talud..... 129
Tabla 35: funciones en diferentes campos de aplicación de los geomantos 131
Tabla 36: propiedades de geomanto permanente 136
Tabla 37: propiedades de geomanto temporal 137
Tabla 38:normas ASTM de geomantos 138
Tabla 39: grapas intermedias 140
Tabla 40: valores de adaptabilidad del vetiver..... 147
Tabla 41: perdida de suelo 150
Tabla 42: resistencia de la raíz a tensión..... 151
Tabla 43: características del suelo de la investigación 151
Tabla 44: resultados del ensayo de tracción del vetiver..... 152
Tabla 45: perdida de suelo y escorrentía con vetiver (datos de campo) en varios países 153
Tabla 46:matriz operacional..... 157
Tabla 47:Ficha para cada talud 160
Tabla 48: Distribución de taludes a ensayar. 171
Tabla 49: clasificación manual visual 174
Tabla 50: Peso unitario 174
Tabla 51: contenido de humedad 175
Tabla 52:granulometría 175
Tabla 53: análisis granulométrico 176
Tabla 54:compactación estándar 177
Tabla 55:densidad máxima y humedad óptima..... 179
Tabla 56: comprobación de que nuestro suelo es estándar según la norma ASTM D 5268..... 181
Tabla 57: comprobación de que nuestro suelo es estándar según la norma ASTM D 6459..... 181
Tabla 58: Fuerza deformación – muestra 1 longitudinal 182
Tabla 59:Fuerza deformación – muestra 2 longitudinal 182
Tabla 60:Fuerza deformación – muestra 3 longitudinal 183
Tabla 61:Fuerza deformación – muestra 4 longitudinal 183
Tabla 62:Fuerza deformación – muestra 5 longitudinal 183

Tabla 63: Fuerza de rotura por unidad de ancho 183
Tabla 64:comprobación de resistencia a la tracción del GMAT VT400 184
Tabla 65:Fuerza deformación – muestra 1 transversal 184
Tabla 66:Fuerza deformación – muestra 2 transversal 184
Tabla 67:Fuerza deformación – muestra 3 transversal 184
Tabla 68:Fuerza deformación – muestra 4 transversal 184
Tabla 69:Fuerza deformación – muestra 5 transversal 184
Tabla 70:Elongación 184
Tabla 71:comprobación de elongación del GMAT VT400 185
Tabla 72:Fuerza deformación – muestra longitudinal 1 185
Tabla 73:Fuerza deformación – muestra longitudinal 2 186
Tabla 74:Fuerza deformación – muestra longitudinal 3 186
Tabla 75:Fuerza deformación – muestra longitudinal 4 186
Tabla 76:Fuerza deformación – muestra longitudinal 5 186
Tabla 77:fuerza de rotura 186
Tabla 78: comprobación de resistencia a tracción de GMAT DS310 187
Tabla 79:Fuerza deformación – transversal 1 187
Tabla 80:Fuerza deformación – transversal 2 187
Tabla 81:Fuerza deformación – transversal 3 187
Tabla 82:Fuerza deformación – transversal 4 187
Tabla 83:Fuerza deformación – transversal 5 187
Tabla 84:elongación 187
Tabla 85:comprobación de elongación de GMAT DS310 188
Tabla 86:comprobación de masa por unidad de área de GMAT VT400 189
Tabla 87:comprobación de masa por unidad de área de GMAT DS310 189
Tabla 88:ensayo de germinación 190
Tabla 89:Datos iniciales del ensayo de germinación 193
Tabla 90:Condiciones ambientales del ensayo de germinación 194
Tabla 91:Longitudes y peso del vetiver antes y después de la simulación del talud de 30° 195
Tabla 92:Longitudes y peso del vetiver antes y después de la simulación del talud de 45° 196

Tabla 93:Longitudes máximas y pesos máximos del vetiver después de la simulación del talud de 30° y 45° 196
Tabla 94:Longitudes mínimas y pesos mínimas del vetiver después de la simulación del talud de 30° y 45° 196
Tabla 95:Aparato de riego por goteo 199
Tabla 96: Datos y resultados de la calibración del aparato de riego por goteo 205
Tabla 97:Valores que usaremos en el ensayo de precipitación 205
Tabla 98: Formato de registro de datos de la simulación de precipitación 208
Tabla 99:Resultados de infiltración acumulada 208
Tabla 100:Resultados de infiltración acumulada (geomantos + vetiver) vs (geomantos) 209
Tabla 101:Resultados de escorrentía acumulada 210
Tabla 102:Resultados de escorrentía acumulada (geomantos + vetiver) vs (geomantos) 211
Tabla 103:Resultados de escorrentía acumulada 211
Tabla 104:Resultados de erosión acumulada (geomantos + vetiver) vs (geomantos) 212
Tabla 105:Erosión de los taludes de 30° y 45° con geomanto permanente (GMAT DS310) + vetiver 216
Tabla 106:comparación de la erosión de los taludes de 30° y 45° solo con [geomanto permanente (GMAT DS310) (Villalba, 2021)] vs con [geomanto permanente (GMAT DS310) + vetiver] 217
Tabla 107:Erosión de los taludes de 30° y 45° con geomanto temporal (GMAT VT400) + vetiver 217
Tabla 108:comparación de la erosión de los taludes de 30° y 45° solo con [geomanto temporal (GMAT VT400) (Villalba, 2021)] vs con [geomanto temporal (GMAT VT400) + vetiver] 218
Tabla 109:comparación de la erosión de los taludes de 30° y 45° con geomanto temporal + vetiver [creación propia vs (Escobar M. , 2014)] 219
Tabla 110:Escorrentía de los taludes de 30° y 45° con geomanto permanente (GMAT DS310) + vetiver 220
Tabla 111:comparación de la escorrentía de los taludes de 30° y 45° solo con [geomanto permanente (GMAT DS310) (Villalba, 2021)] vs con [geomanto permanente (GMAT DS310) + vetiver] 220

Tabla 112: Escorrentía de los taludes de 30° y 45° con geomanto temporal (GMAT VT400) + vetiver 221
Tabla 113:comparación de la escorrentía de los taludes de 30° y 45° solo con [geomanto temporal (GMAT VT400) (Villalba, 2021)] vs con [geomanto temporal (GMAT VT400) + vetiver] 221
Tabla 114:comparación de la escorrentía de los taludes de 30° y 45° con geomanto temporal + vetiver [creación propia vs (Escobar M. , 2014)] 222
Tabla 115: Infiltración de los taludes de 30° y 45° con geomanto permanente (GMAT DS310) + vetiver 223
Tabla 116:comparación de la infiltración de los taludes de 30° y 45° solo con [geomanto permanente (GMAT DS310) (Villalba, 2021)] vs con [geomanto permanente (GMAT DS310) + vetiver] 224
Tabla 117: Infiltración de los taludes de 30° y 45° con geomanto temporal (GMAT VT400) + vetiver 224
Tabla 118:comparación de la infiltración de los taludes de 30° y 45° solo con [geomanto temporal (GMAT VT400) (Villalba, 2021)] vs con [geomanto temporal (GMAT VT400) + vetiver] 225
Tabla 119:comparación de la infiltración de los taludes de 30° y 45° con geomanto temporal + vetiver [creación propia vs (Escobar M. , 2014)] 225
Tabla 120:longitudes promedio de brote y raíz, y el peso promedio del vetiver antes y después de simulación 226
Tabla 121:longitudes promedio de brote y raíz, y el peso promedio del vetiver 227
Tabla 122: Día 1 de riego del talud de 30° 253
Tabla 123:Día 2 de riego del talud de 30° 253
Tabla 124:Día 3 de riego del talud de 30° 254
Tabla 125:Día 4 de riego del talud de 30° 254
Tabla 126:Día 5 de riego del talud de 30° 255
Tabla 127:Día 6 de riego del talud de 30° 255
Tabla 128:Día 7 de riego del talud de 30° 256
Tabla 129:Día 8 de riego del talud de 30° 256
Tabla 130:Día 9 de riego del talud de 30° 257
Tabla 131:Día 10 de riego del talud de 30° 257
Tabla 132:Día 11 de riego del talud de 30° 258

Tabla 133:Día 12 de riego del talud de 30° 258
Tabla 134: Día 1 de riego del talud de 45° 259
Tabla 135:Día 2 de riego del talud de 45° 259
Tabla 136:Día 3 de riego del talud de 45° 260
Tabla 137:Día 4 de riego del talud de 45° 260
Tabla 138:Día 5 de riego del talud de 45° 261
Tabla 139:Día 6 de riego del talud de 45° 261
Tabla 140:Día 7 de riego del talud de 45° 262
Tabla 141:Día 8 de riego del talud de 45° 262
Tabla 142:Día 9 de riego del talud de 45° 263
Tabla 143:Día 10 de riego del talud de 45° 263
Tabla 144:Día 11 de riego del talud de 45° 264
Tabla 145:Día 12 de riego del talud de 45° 264
Tabla 146:Infiltración acumulada 265
Tabla 147:Escorrentía acumulada 265
Tabla 148:Erosión acumulada 266
Tabla 149:Infiltración acumulada (Villalba, 2021) 267
Tabla 150:Escorrentía acumulada (Villalba, 2021) 267
Tabla 151:Erosión acumulada (Villalba, 2021) 267
Tabla 152:Infiltración acumulada (Escobar M. , 2014) 268
Tabla 153:Escorrentía acumulada (Escobar M. , 2014) 268
Tabla 154:Erosión acumulada (Escobar M. , 2014) 268
Tabla 155:cronograma 273

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: volumen de vacíos, volumen total 46
Ecuación 2: masa total 47
Ecuación 3: peso especifico 47
Ecuación 4: peso específico seco 47
Ecuación 5: peso específico saturado 47
Ecuación 6: peso específico sumergido 47
Ecuación 7: peso específico del material 48
Ecuación 8: peso específico del agua 48
Ecuación 9: contenido de humedad 48
Ecuación 10: relación de vacíos 48
Ecuación 11: porosidad 48
Ecuación 12:Grado de saturación 48
Ecuación 13:Densidad relativa 49
Ecuación 14:Gravedad especifica 49
Ecuación 15: índice de plasticidad 52
Ecuación 16:velocidad límite de decantación 54
Ecuación 17:Densidad seca 55
Ecuación 18: esfuerzo cortante del suelo según Coulomb 60
Ecuación 19: esfuerzo cortante del suelo según Terzaghi 60
Ecuación 20: esfuerzo normal efectivo del suelo 61
Ecuación 21:Coeficiente de rozamiento 62
Ecuación 22:Presión de poros 64
Ecuación 23:caudal 83
Ecuación 24: caudal especifico 83
Ecuación 25: coeficiente de escorrentía superficial 83
Ecuación 26: fórmula de Nadal para el coeficiente de escorrentía 84
Ecuación 27: fórmula de Keler para el coeficiente de escorrentía 84
Ecuación 28: método racional para el coeficiente de escorrentía 85
Ecuación 29: coeficiente reductor de área 85
Ecuación 30:coeficiente de uniformidad 85
Ecuación 31: tasa de infiltración 95
Ecuación 32: Velocidad inicial de la caída de la gota de agua 95

Ecuación 33: Energía cinética de la caída de la gota de agua 96
Ecuación 34: perdida de suelo 117
Ecuación 35: erosión por la lluvia 118
Ecuación 36: factor de erosión por la lluvia por el índice modificado de Fournier (IFM). 118
Ecuación 37: factor de erosión por lluvia con intensidad de 30 minutos 118
Ecuación 38: factor de longitud del terreno y de pendiente 119
Ecuación 39: factor de longitud del terreno y de pendiente 119
Ecuación 40: factor de longitud del terreno y de pendiente 119
Ecuación 41: factor de longitud del terreno y de pendiente 120
Ecuación 42: volumen erosionado 121
Ecuación 43:altura del material erosionado 121
Ecuación 44: lluvia retenida 143
Ecuación 45: carga máxima del brote de vetiver 152
Ecuación 46: esfuerzo máximo del brote de vetiver 152
Ecuación 47: porcentaje del contenido de humedad 175
Ecuación 48: densidad húmeda 177
Ecuación 49:densidad seca 178
Ecuación 50: densidad húmeda para el talud modelado 179
Ecuación 51:masa húmeda para el talud modelado 179
Ecuación 52: masa seca para el talud modelado 179
Ecuación 53:masa de una capa para el talud modelado 179
Ecuación 54:masa de agua para el talud modelado 180
Ecuación 55:masa por unidad de área 188

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1:Mezcla de arena con agua para compactar 247
Anexo 2:Valores de compactación del densímetro nuclear 247
Anexo 3:Talud de 45° y 30° 247
Anexo 4:Dimensiones del Talud de 30° 247
Anexo 5:Dimensiones del Talud de 45° 248
Anexo 6: Clasificación de vetiver verde (vivo) y amarillo (muerto) 248
Anexo 7:Suelo fértil 248
Anexo 8:Cultivo de vetiver 248
Anexo 9:Talud de 30° con geomanto y vetiver 249
Anexo 10:Talud de 45° con geomanto y vetiver 249
Anexo 11:Crecimiento del vetiver con el riego diario 249
Anexo 12:Calibración del simulador 249
Anexo 13:Simulación de lluvia 250
Anexo 14:Muestras de escorrentía y suelo desprendido del talud 250
Anexo 15:talud de 30° después de las simulaciones 250
Anexo 16:talud de 45° después de las simulaciones 250
Anexo 17:Crecimiento de vegetación alrededor del vetiver 251
Anexo 18: vetiver después de las simulaciones 251
Anexo 19:Medición y peso del vetiver después de las simulaciones 251
Anexo 20:GMAT VT400 252
Anexo 21:GMAT DS310 252

1. CAPITULO I

1.1 Introducción

El Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) es un pasto que reduce la pérdida del suelo a niveles aceptables (< 3 toneladas/ha) y la escorrentía hasta en 70%, dependiendo de la pendiente y el tipo de suelo, mejora la infiltración de la escorrentía y reduce su velocidad (Grimshaw, 2020). Crece en grandes macollos a partir de una masa radicular muy ramificada y esponjosa, entra en el suelo de forma vertical hasta 3 m en un año. El vetiver puede resistir temperaturas de – 9°C a 55ºC y precipitaciones medias anuales entre 300 mm a 6000 mm (Bedolla, 2015).

El ensayo de germinación es una prueba realizada en laboratorio que consiste en colocar vegetación en un sustrato húmedo, en condiciones controladas de temperatura, humedad y luz para que crezcan y alcancen un nivel de desarrollo. (Gobierno de México, 2019). Este método de prueba cubre los procedimientos para evaluar el efecto de los productos para el control de la erosión (geomantos) sobre el crecimiento de la vegetación. Se cultiva semillas o brotes sobre el sustrato de arena, en presencia de una cantidad fija de agua, con una temperatura y humedad relativa constante (ASTMD7322, 2017).

Los taludes suelen ser obras de tierra, tienen tal inclinación que asegura la estabilidad de la estructura. los taludes son altamente susceptibles a la erosión hídrica y al movimiento repentino de masas. Para su control, los taludes suelen estar protegidos por estructuras civiles y tratamientos de vegetación (Larranaga, 2015).

Es importante determinar el riesgo potencial de deslizamientos de tierra por saturación del lugar con lluvias continuas, que generalmente ocurren en invierno, para que sea posible mitigar o evitar fallas. La erosión hídrica de los taludes ocurre en la temporada de lluvias, y la superficie crítica del deslizamiento de tierra puede ser causada por humedad de la superficie del talud, aumento de las aguas subterráneas o alta humedad en la interfaz suelo-roca (Castagnino, 2018).

La erosión es la pérdida de partículas de suelo por fragmentación y arranque, gracias a la variación química o física (meteorización) modificando las fronteras de resistencia

y permeabilidad, de forma que es propenso a que el talud falle y se genere un deslizamiento, por impacto del agua, viento, gravedad o agricultura (Colotti, 2015). El agua de lluvia es el componente que más se asocia con la inestabilidad en taludes (variación de la presión de poros, alteración del esfuerzo efectivo, crecimiento de la fuerza gravitacional por alteración del peso unitario) o desencadenante de un proceso de erosión (Cartonalli, 2020).

El propósito de esta investigación es verificar la eficiencia de los geomantos temporales y permanentes patrocinados por Pivaltec junto con el pasto Vetiver, frente a una erosión hídrica normalizada. El trabajo de titulación se basa en la norma ASTM D7101 y ASTM D7322.

1.2 Justificación

La razón principal que motiva este plan de disertación es disminuir los efectos nocivos que las lluvias causan en un talud como la erosión mínima inducida por escorrentía, por medio del ensayo de germinación. Se implementa el uso del pasto Vetiver en el ensayo de germinación utilizando geomantos temporales y permanentes, los cuales bordearán el diámetro de los brotes, conservarán su humedad y protegerán al talud de escorrentías y se adhiere con el terreno del talud que permite junto con el Vetiver controlar la erosión mínima inducida por escorrentía.

En la ciudad de Quito debido a las lluvias de la estación invernal, la erosión mínima inducida por escorrentía del suelo podría ser una de las causas que originen deslizamientos de tierra o falla en taludes. "En la noche del jueves 27 de febrero de 2020 y viernes 28 de febrero de 2020 ocurrieron dos deslizamientos de tierra en la carretera Calacalí-la Independencia en la zona de Pisulí en el noroeste de Quito. El Departamento de Bomberos de Quito informó que se necesitó retirar suelo de la calle para que los vehículos puedan movilizarse" (Comercio, 2020).

Debido a los efectos de la escorrentía, los geomantos permanentes (TRM) y temporales (ECB) se utilizan para controlar, prevenir y reducir la erosión del suelo. Los geomantos están fabricados con fibras naturales y sintéticas que facilitan la revegetación de la zona de intervención. Son una solución ambiental que puede

reparar y revegetar el suelo intervenido (Geoambientales, 2018). El manto de control de erosión es un sistema de protección del suelo que controla o minimiza los efectos de la escorrentía y el viento bajo los estándares de estabilidad de la superficie de taludes (Castellano, 2018).

El pasto vetiver reduce la velocidad de escorrentía, debilita, filtra y regula el flujo de agua para evitar la pérdida de suelo. El pasto Vetiver crece hasta 1.5 m. Sus tallos son altos y tiene hojas largas, delgadas y rígidas. Las raíces del pasto Vetiver crecen de forma masiva en sentido vertical alcanzando los 4 m de profundidad. Estas características hacen al Vetiver una vegetación ideal para frenar la erosión. Por sus propiedades morfológicas, fisiológicas y ecológicas, el vetiver se ajusta a la formación de barreras vivas para frenar la erosión, tiene una alta capacidad de colonización y estabilidad de la tierra (Castagnino, 2018).

Los taludes de Quito, compuestos de partículas de origen volcánico (arenas limosas) de baja plasticidad, erosionables y con poca vegetación ocasionan un constante movimiento en el borde del talud (pérdida de suelo) y lavado de finos (escorrentía) con generación de surcos (erosión) producidos por el impacto de la caída de las gotas de lluvia que caen sobre la superficie del talud, por lo que es necesario encontrar una solución viable para controlar la erosión mínima inducida por escorrentía de los taludes arenosos frente a las precipitaciones, por medio del ensayo de germinación.

1.3 Alcance

El estudio propone evaluar el desempeño de los geomantos temporales (GMAT VT400) y geomantos permanentes (GMAT DS310) con Vetiver (*Chrysopogon zizanioides),* en taludes modelados a escala en laboratorio con condiciones controladas de suelo y gotas de agua, con pendientes de 30° y 45° siguiendo las normas ASTM D 7101 y ASTM D 7322.

Una vez hechos los ensayos pertinentes en las muestras de suelo, se modelan taludes de 30° y 45° a escala. Se cultivan los brotes de vetiver (*Chrysopogon zizanioides)* y se colocan franjas de geomantos en la superficie de los taludes. Estos taludes modelados usan un equipo de riego por goteo que simula lluvia.

Con los resultados obtenidos se puede hacer un estudio comparativo entre las muestras y grupos de análisis, los cuales son descritos en el capítulo VIII (Metodología de la investigación). Se hará un estudio comparativo de la escorrentía, infiltración y erosión entre los grupos de análisis de esta investigación (geomantos + vetiver) y los grupos de análisis de la tesis de mis compañeros Said Onofa y Rosario Villalba (Villalba, 2021) (suelo desnudo y geomantos).

Con los resultados obtenidos se establecerá con que geomanto se tiene mejor desempeño en el control de erosión mínima inducida por escorrentía usando los brotes Vetiver, pesando la cantidad de suelo que es desprendido a causa de la precipitación y con que geomanto se tiene mejor desempeño en la germinación, midiendo las longitudes de los brotes Vetiver y las profundidades de sus raíces (mayor enraizamiento y vegetación). Es fundamental saber que los resultados de esta investigación no tienen la posibilidad de ser extrapolados a condiciones reales.

1.4 Disposición del plan

El documento inicia con definiciones y propiedades de los suelos (Capítulo II), se mencionan los conceptos más importantes sobre los taludes (Capítulo III), se presenta un capítulo dedicado solo a la precipitación (Capítulo IV), se define todos los conceptos de la erosión (Capítulo V), se mencionan a los geomantos (Capítulo VI) y se detallará todos los aspectos del Vetiver (Capítulo VII).

En este capítulo de determina la metodología de pre-investigación y de investigación (Capítulo VIII), se muestran los ensayos y resultados obtenidos de los suelos (Capítulo IX), se muestran los ensayos y resultados obtenidos de los geomantos (Capítulo X), se muestran el procedimiento y resultado del ensayo de germinación (Capítulo XI) y se muestran el procedimiento y resultado del ensayo de precipitación (Capítulo XII).

Finalmente se desarrollan las conclusiones y recomendaciones del proyecto de investigación (Capítulo XIII) y se citan las fuentes bibliográficas utilizadas para esta disertación (Capítulo XIV).

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- Realizar el ensayo de germinación en taludes modelados en laboratorio con pendientes de 30° y 45°, con suelo estándar (arena), Vetiver y geomantos temporales y permanentes, para controlar la erosión mínima inducida por escorrentía de taludes modelados en laboratorio, siguiendo la norma ASTM D 7101 y ASTM D 7322.

1.5.2 Objetivos específicos

- Determinar cuál es el talud modelado con geomanto y Vetiver que tiene el mejor desempeño en el ensayo de germinación (mayor enraizamiento y vegetación), midiendo las longitudes de los brotes Vetiver y las profundidades de sus raíces, siguiendo la norma ASTM D 7322.
- Determinar cuál es el talud modelado con geomanto y Vetiver que tiene el mejor desempeño en el control de erosión mínima inducida por escorrentía, pesando la cantidad de suelo que es desprendido a causa de la precipitación, siguiendo la norma ASTM D 7101.
- Realizar un análisis comparativo en el desempeño de los geomantos temporales con Vetiver y geomantos permanentes con Vetiver, en el ensayo de germinación y en el control de erosión mínima inducida por escorrentía de los taludes modelados.

2. CAPITULO II: SUELOS

2.1 Suelo

El suelo se define como agregados naturales no cementados de partículas minerales y materia orgánica descompuesta, con líquido y gas en los huecos entre las partículas que lo componen. El suelo tiene propiedades físicas según el tamaño de sus partículas y la forma en que interactúan. Los suelos acostumbran a ser materiales heterogéneos y anisotrópicos, por lo cual toda su masa no está compuesta por el mismo material, la masa del suelo no vuelve a su forma original al deformarse (Rucks, 2018).



Fotografía 1: suelo

Fuente: (Rucks, 2018)

2.2 Mecánica de suelos

La mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los inconvenientes de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, ejecutadas por la desintegración mecánica o la descomposición química de las piedras (Rucks, 2018).

2.3 Descripción cualitativa de suelo

El suelo es la parte superficial de la corteza terrestre, formada por cambios químicos o físicos y la descomposición de las rocas, y está compuesto de materia orgánica, minerales, agua y aire. Evolucionan bajo la influencia de la gravedad, la temperatura, el viento, la lluvia, etc. El análisis cualitativo del suelo se da mediante el uso de los sentidos como la visión, el olor y el tacto del suelo (Sáez, 2020).

2.3.1 Origen del suelo

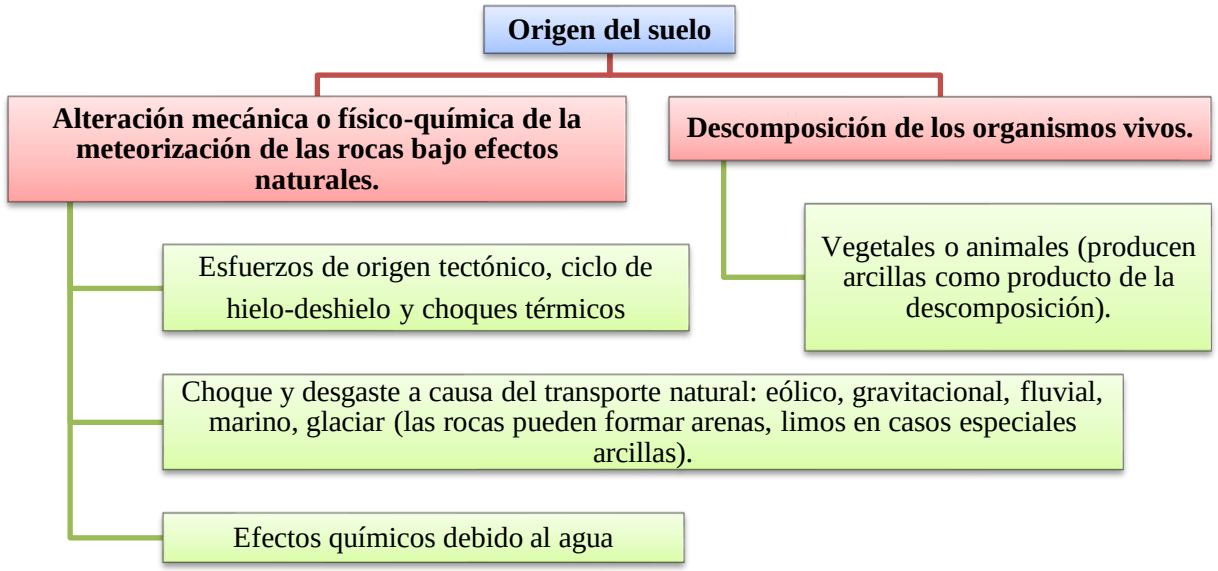


Ilustración 1: origen del suelo

Fuente: (Badillo, 2010)

2.3.2 Características de las partículas de los suelos

2.3.2.1 Degradación:

- **Degradación mecánica:** Se da por la erosión hídrica, erosión eólica, compactación del suelo, efectos de organismos y plantas o por el cambio de temperatura. Las rocas forman limos, arenas o arcillas de forma regular (Solera, 2019).
- **Degradación química:** Se da por el cambio de la composición mineralógica y química de las rocas, se da por la salinización, hidratación, carbonatación, oxidación o por la contaminación. En zonas calientes se encuentra arcilla y en zonas frías limos y arenas de forma irregular (Solera, 2019).

Hay suelo arcilloso en zonas húmedas y cálidas, en regiones frías hay suelo arenoso o limoso y en desiertos hay arena. El intemperismo permite la formación de suelos residuales y suelos transportados (Arregui, 2017).

- **Suelo Residual:** El suelo al sufrir desgaste se conserva en el lugar de la erosión (Arregui, 2017).
- **Suelo transportado:** Las partículas son removidas y depositadas en otra región por medio de agentes geológicos (Arregui, 2017).

2.3.2.2 Textura:

Se consideran a todas las partículas menores a 4.75 mm como arena, limo o arcilla y a las partículas mayores a 4.75 mm como grava, piedra o roca. Se hará la determinación del tamaño de las partículas por tamizado siguiendo la norma ASTM C136 para identificar los porcentajes de arena, limo y arcilla (ASTM C136, 2021) y se clasificará los suelos siguiendo la norma ASTM D2487 (ASTMD2487, 2017).

Tabla 1: tamaño de partículas finas

Fuente: (USDA, 2019)

TAMAÑO DE PARTÍCULAS FINAS	
Arcilla	< 0.002 mm
Limo	0.002 - 0.05 mm
Arena	0.05 - 2 mm

Material	Características	Tamaño (mm)
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: tamaño de partículas gruesas

Fuente: (USDA, 2019)

TAMAÑO DE PARTÍCULAS GRUESAS	
Roca	> 20 mm
Grava	0.2 - 2 mm

Material	Características	Tamaño (mm)
Grava	Gruesa	30 a 70
	Media	5 a 30
	Fina	2 a 5

2.3.2.3 Angularidad y redondez:

- **Angular:** Tiene bordes agudos con caras planas.
- **Subangular:** Tiene bordes algo redondeados.
- **Redondeada:** Tienen lados suavemente curvos.
- **Sub redondeada:** Sus caras son planas con esquinas redondos.

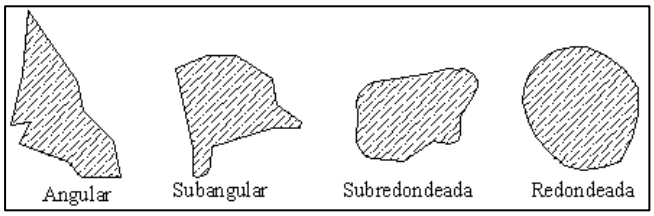


Figura 1: angularidad y redondez del suelo

Fuente: (Jiménez, 2019)

2.3.3 Fases del suelo

Fase sólida: Esta es la fase más estable del suelo y la más representativa, dónde se constituyen partículas orgánicas y minerales.

Fase líquida: está constituida por agua o por otros liquidos.

Fase gaseosa: está compuesta de aire o de otros gases.

Ilustración 2: fases del suelo

Fuente: (Gutierrez, 2018)

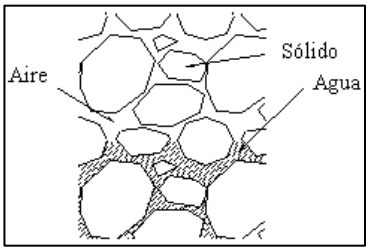


Figura 2: fases del suelo

Fuente: (Gutierrez, 2018)

2.3.4 Propiedades del suelo

Propiedades del suelo	material no isotropico
	las partículas de los suelos permanecen débilmente unidas entre ellas
	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
	la conducta del suelo es dependiente del tamaño de partículas y el contenido de agua que este pose
	las características físicas (textura, porosidad, composición, color, permeabilidad, porosidad, drenaje y consistencia) limitan la utilización del suelo en la ingeniería

Ilustración 3:propiedades del suelo

Fuente: (Badillo, 2010)

2.4 Descripción cuantitativa del suelo

Se puede obtener las características de un suelo determinando sus propiedades físicas, mecánicas o químicas. Esta identificación se lleva a cabo sobre la base de experimentos. La importancia de describir los suelos de manera cuantitativa es que pueden existir suelos con comportamientos mecánicos muy diferentes que son de naturaleza similar (Sáez, 2020).

2.4.1 Relaciones fundamentales

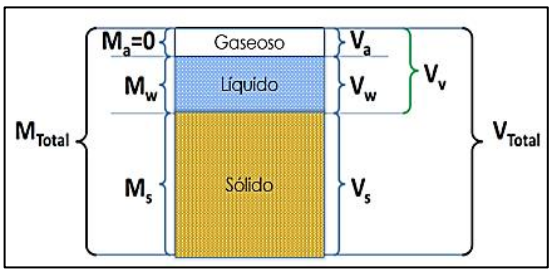


Figura 3: relaciones volumétricas y gravimétricas del suelo

Fuente: (Sáez, 2020)

Ecuación 1: volumen de vacíos, volumen total

Fuente: (Badillo, 2010)

$$Vv = Vw + Va$$
$$Vt = Vv + Vs$$
$$Vt = Vw + Va + Vs$$

Dónde:
Vt: volumen da la masa
Vs: volumen de sólidos
Vw: volumen de agua
Va: volumen de aire

Vv: volumen de vacíos

Ecuación 2: masa total

Fuente: (Badillo, 2010)

$$Wt = Ww + Wa + Ws$$
$$Wt = Ww + Ws$$

Dónde:
Wt: peso de la masa
Ws: peso de la fase sólida de la muestra
Ww: peso del agua
Wa: peso de la fase gaseosa considerado como nulo.

Ecuación 3: peso especifico

Fuente: (Badillo, 2010)

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

Dónde:
W: Peso natural total de la muestra
V: Volumen

Ecuación 4: peso específico seco

Fuente: (Badillo, 2010)

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

Dónde:
W_T *: Peso seco de la muestra total*
V_T*: Volumen total*

Ecuación 5: peso específico saturado

Fuente: (Badillo, 2010)

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

Dónde:
W_S *: Peso de la muestra seca*
W_w *: Peso del agua*
V: Volumen

Ecuación 6: peso específico sumergido

Fuente: (Badillo, 2010)

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

Dónde:
γ_{sat} *= Peso específico saturado*
γ_w *= Peso específico del agua*

Ecuación 7: peso específico del material

Fuente: (Badillo, 2010)

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

Dónde:
W_s *: Peso de los solidos*
V_s*: Volumen de la fase solida*

Ecuación 8: peso específico del agua

Fuente: (Badillo, 2010)

$$\gamma_w = 1000\ kgf/m^3$$
$$\gamma_w = 1\ Ton/m^3$$

Ecuación 9: contenido de humedad

Fuente: (Badillo, 2010)

$$w\ (\%) = \frac{W_w}{w_s} * \ [100]$$

Dónde:
W_s *: Peso de los solidos*
W_W*: Peso del agua*

Ecuación 10: relación de vacíos

Fuente: (Badillo, 2010)

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

Dónde:
V_V *: Volumen de vacíos*
V_S*: Volumen de sólidos*

Ecuación 11: porosidad

Fuente: (Badillo, 2010)

$$n = \frac{V_V}{V_t} * 100$$

Dónde:
V_V *: Volumen de vacíos*
V_t*: Volumen total*

Ecuación 12:Grado de saturación

Fuente: (Badillo, 2010)

$$s = \frac{V_w}{V_v} * 100$$

Dónde:
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)

Ecuación 13:Densidad relativa

Fuente: (Badillo, 2010)

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

Dónde:
e : relación de vacíos 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:Densidad relativa del suelo

Fuente: (Badillo, 2010)

Ecuación 14:Gravedad especifica

Fuente: (Badillo, 2010)

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

Dónde:
W_s *: Peso de los solidos*
γ_s *: peso específico del material*

Tipo de suelo	G_s
Arena de cuarzo	2.64–2.66
Limo	2.67–2.73
Arcilla	2.70–2.9
Yeso	2.60–2.75
Loes	2.65–2.73
Turbo	1.30–1.9

Figura 5: gravedad especifica

Fuente: (Badillo, 2010)

2.4.2 Límites de Atterberg

Atterberg desarrollo un procedimiento para explicar la consistencia de los suelos de grano fino, desarrollado con diferentes porcentajes de humedad. Sí el contenido de humedad es bajo, la conducta del suelo va a ser como un sólido quebradizo. Si el suelo tiene contenido de humedad alto, su comportamiento se asemejará a un líquido.

Dependiendo de la humedad, la naturaleza del suelo podría ser dividido en 4 estados: sólido, semisólido, plástico y líquido. Sabiendo esto podemos clasificar al suelo según el SUCS (Badillo, 2010).

Límite plástico: Se ubica entre el estado plástico y sólido

Límite líquido: Esta entre el estado líquido y plástico

Índice de Plasticidad: Es la magnitud del contenido de humedad dónde el suelo tiene consistencia plástica

Ilustración 4:límites de Atterberg

Fuente: (Badillo, 2010)

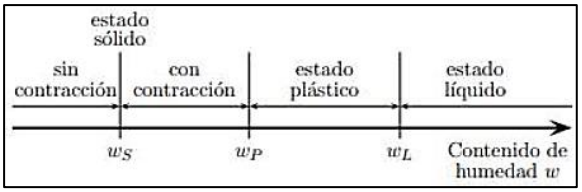


Figura 6:Estados del suelo según su humedad

Fuente: (Badillo, 2010)

2.4.2.1 Limite líquido

Esta entre el estado líquido y plástico. El límite líquido es un ensayo que se establece de manera estandarizada por medio del Aparato de Casagrande siguiendo la norma ASTM D4318. El límite líquido se definirá como el contenido de agua fundamental para que la muestra de suelo seco fluya por vibración (ASTMD4318, 2017). A continuación, se detalla el procedimiento:

a) Obtener una muestra de suelo de 150 a 200 g que pasa por el tamiz No 40
b) Colocar 25 a 35 gotas de agua destilada en un recipiente
c) Se mezcla el suelo y el agua en un recipiente
d) En la copa de Casagrande se coloca la mezcla
e) Se forma una ranura en la superficie del suelo
f) Se deja caer la copa girando la manivela a una velocidad de 1.9 a 2.1 gotas/s hasta que las dos mitades de suelo tengan una distancia de 13 mm.
g) Se cuenta el número de golpes.
h) Se coloca la mezcla en tres recipientes metálicos
i) Las muestras se pesan y se colocan en el horno a (110 °C $\pm$ 5 °C), secando la

muestra en un tiempo de 12 a 16 horas hasta que la masa sea constante.

j) Se retira las muestras del horno, se las deja enfriar y se las pesa. (ASTMD4318, 2017)



Figura 7: ensayo de limite liquido

Fuente: (ASTMD4318, 2017)

2.4.2.2 Limite plástico

El suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico. Es el contenido de humedad, en el cual la muestra de suelo al enrollarse en hilos de manera elipsoidal de 3.2 mm de diámetro se desmorona siguiendo la norma ASTM D4318 (ASTMD4318, 2017). A continuación, se detalla el procedimiento:

a) Se obtiene una muestra de suelo de 1.5 a 2 g usado en el límite líquido
b) Se procede a hacer rollitos con la mano y la placa de vidrio, se forman rollitos de 3.2 mm de diámetro en un tiempo máximo de 2 minutos.
c) Se reúne las piezas de rollito y se las coloca en un recipiente previamente pesado, el recipiente con los rollitos debe pesar 6 g. Se deben tener mínimo 3 recipientes con rollitos.
d) Las muestras se pesan y se colocan en el horno a (110 °C $\pm$ 5 °C), secando la muestra en un tiempo de 12 a 16 horas hasta que la masa sea constante.
e) Se retira las muestras del horno, se las deja enfriar y se las pesa. (ASTMD4318, 2017)

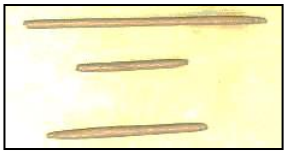


Figura 8: limite plástico

Fuente: (ASTMD4318, 2017)

2.4.2.3 Índice de plasticidad

El Índice de plasticidad se define como la diferencia entre el Limite Liquido y el Limite Plástico (ASTMD4318, 2017).

Ecuación 15: índice de plasticidad

Fuente: (Badillo, 2010)

$$IP = LL - LP$$

Dónde:
LL : Limite liquido
LP : Limite plástico

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 9: grado de plasticidad de diferentes suelos

Fuente: (Badillo, 2010)

Soil type	LL (%)	PL (%)	PI (%)
Sand		Nonplastic	
Silt	30–40	20–25	10–15
Clay	40–150	25–50	15–100
Minerals			
Kaolinite	50–60	30–40	10–25
Illite	95–120	50–60	50–70
Montmorillonite	290–710	50–100	200–660

Figura 10: límites de Atterberg según el tipo de suelo

Fuente: (Badillo, 2010)

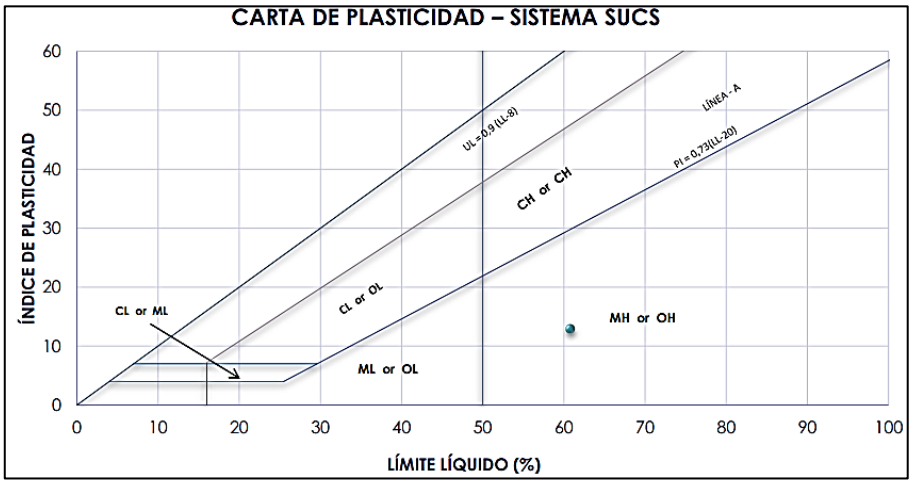


Figura 11: Carta de plasticidad (índice de plasticidad vs limite liquido)

Fuente: (Badillo, 2010)

2.4.3 Granulometría

Es la medición del tamaño de partículas que componen la muestra de suelo, y se puede establecer mediante la distribución estadística del porcentaje del número de partículas de diferentes tamaños. La clasificación de partículas mayores a 75 µm se realiza mediante tamizado, cuando las partículas son más finas y menores a 75 µm, el procedimiento de sedimentación se realiza con un hidrómetro (Arregui, 2017).

- **Gradación del suelo:** La proporción de partículas del suelo según su tamaño (Arregui, 2017).
- **Diámetro de partícula:** La abertura correspondiente al orificio más pequeño del tamiz por el que pasan las partículas de suelo (Arregui, 2017).

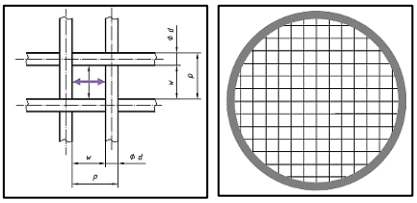


Figura 12: abertura del tamiz

Fuente: (Albuja, 2018)

2.4.3.1 Granulometría por tamizado

Se realiza con tamices graduados de diferentes tamaños de abertura de forma decreciente (ASTMD6913, 2017).

Tabla 3:Número de tamices

Fuente: creación propia

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

2.4.3.2 Granulometría por hidrómetro

Se realiza para partículas de suelo pasantes del tamiz N°200, el diámetro del grano va a ser calculado de acuerdo con la ley de Stokes que posibilita establecer el diámetro de la partícula de suelo por medio de la rapidez con la que viaja un fluido viscoso (ASTMD6913, 2017).

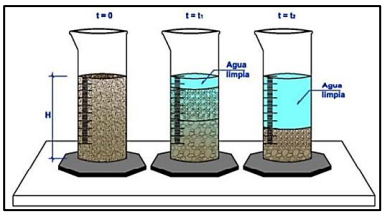


Figura 13: Granulometría por hidrómetro para partículas finas

Fuente: (Albuja, 2018)

Ecuación 16:velocidad límite de decantación

Fuente: (Badillo, 2010)

$$v_{dec} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18n} * D^2$$

Dónde:
n : Viscosidad del fluido
γ_s : *Densidad absoluta del material*
γ_w : *Densidad absoluta del agua*
D: diámetro del grano

2.4.4 Proctor estándar

La compactación de suelos es de los procedimientos más usados para mejorar las características de un suelo por lo que es muy importante conocer sus propiedades de compactación y puesta en obra (Pérez, 2020). El procedimiento se detalla en la norma ASTM D698. La compactación de un suelo crea un aumento en la densidad del material y tiene algunos beneficios como:

- **Incremento de la capacidad portante del suelo:** con una mayor alianza entre partículas, más grande es la resistencia del grupo de partículas, como en las capas de las vías que estarán sometidos a cargas del tráfico vehicular (Pérez, 2020).
- **Dificulta la penetración de agua:** el agua ocasiona un arrastre de partículas, la acumulación de agua puede crear graves deterioros en la capa de suelo (Pérez, 2020).

- **Disminuye el esponjamiento y la contracción del suelo:** el agua puede penetrarse y acumularse cuando hay fisuras en el suelo (Pérez, 2020).
- **Impide el hundimiento del suelo:** un suelo mal compactado puede generar hundimientos localizados (Pérez, 2020).

Ecuación 17:Densidad seca

Fuente: (ASTM D698, 2020)

$$\rho_d = \frac{M_m}{w} * 100 = \rho - M_m = \frac{\rho * 100}{w + 100}$$

Dónde:
M_m: masa de agua por unidad de volumen (kg/m^3)
w: contenido de agua
ρ: densidad húmeda (kg/m^3)

La curva de compactación gráfica cuál es la densidad seca que se puede conseguir con un contenido de humedad óptimo (ASTM D698, 2020).

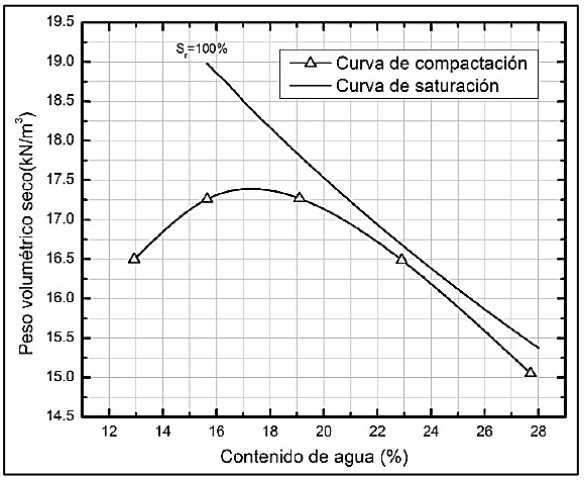


Figura 14:Curva de compactación del Proctor estándar

Fuente: (Pérez, 2020)

2.5 Ensayos de suelos

Se realizarán ensayos de suelo para su clasificación (contenido de humedad, granulometría y Proctor estándar) siguiendo las normas ASTM:

Tabla 4: ensayos del suelo

Fuente: ((ASTMD2216, 2019), (ASTMD2487, 2017), (ASTM C136, 2021), (ASTM D698, 2020)

TIPO	NORMA	DESCRIPCIÓN
SUELO	ASTM D 2216	Métodos de prueba estándar para la determinación de laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo y la roca en masa

ASTM C 136	Método estándar de ensayo para análisis por tamizado de agregados fino y grueso.
ASTM D 2487	Clasificación de suelos (granulometría, contenido de agua, límite líquido)
ASTM D 698	Métodos de prueba estándar para las características de compactación de laboratorio del suelo con esfuerzo estándar

2.5.1 Ensayo ASTM D2216

Tamaño máximo de partículas (100% pasando)	Tamaño malla estándar	Masa mínima recomendada para especímenes húmedos de prueba para contenido de humedad reportado al ± 0.1%	Masa mínima recomendada para especímenes húmedos de prueba para contenido de agua reportado al ± 1%
2 mm o menos	# 10	20 g	20 g*
4.75 mm	# 4	100 g	20 g*
9.5 mm	3/8 pulg	500 g	50 g
19.0 mm	¾ pulg	2.5 kg	250 g
37.5 mm	1 ½ pulg	10 kg	1 kg
75.0 mm	3 pulg	50 kg	5 kg

Figura 15: masa mínima para el ensayo ASTM D 2216

Fuente: (ASTMD2216, 2019)

a) Obtener la masa mínima de suelo
b) Pesar el recipiente vacío
c) Pesar la masa de suelo húmedo en el recipiente
d) Colocar las muestras en el horno a (110 °C ± 5 °C), secando la muestra en un tiempo de 12 a 16 horas hasta que la masa sea constante.
e) Se retira la muestra del horno, se deja enfriar la muestra y se lo pesa.
f) Calcular el contenido de humedad del suelo
g) Se recomienda ensayar tres masas mínimas de suelo para tener más exactitud en el cálculo. (ASTMD2216, 2019).

2.5.2 Ensayo ASTM C136

2.5.2.1 Por tamices

Esto se logra mediante un conjunto de tamices con diferentes tamaños de apertura dispuestas de manera decreciente. En cada tamiz se retienen las partículas que pasan por el tamiz superior.

a) El tamizado debe realizarse en muestras de suelo seco que se hayan limpiado en el tamiz No. 200.

b) Al verter la muestra en el tamiz, debe agitarse horizontal y verticalmente para mantener la muestra en movimiento sobre el tamiz.

c) Mida la masa de suelo retenida en el tamiz en una balanza La masa total retenida en cada tamiz debe dar un número similar al peso inicial de la muestra.

d) Posteriormente, utilice los datos obtenidos para dibujar una curva de tamaño de partícula semilogarítmica, el diámetro de partícula en el eje X y el porcentaje de partículas que pasan por el eje Y (ASTM C136, 2021).

Tabla 5: Tamaño de malla de partículas gruesas

Fuente: creación propia

Tamaño de malla	
pulg	**mm**
3	76.20
2 1/2	63.50
2	50.80
1 1/2	38.10
1	25.40
3/4	19.05
3/8	9.53
1/2	12.70

Tabla 6: Tamaño de malla de partículas finas

Fuente: creación propia

Tamaño de malla	
N°	**mm**
4	4.75
8	2.38
10	2
16	1.18
20	0.85
30	0.6
40	0.425
50	0.3
60	0.25
100	0.15
140	0.106
200	0.075

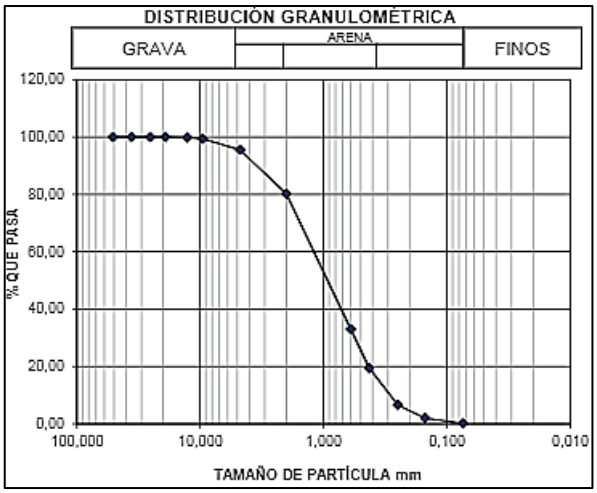


Figura 16: Grafica de granulometría

Fuente: (Arregui, 2017)

2.5.2.2 Tipos de graduación

- **Suelo bien graduado:** Graduación continua de tamaños (Arregui, 2017).

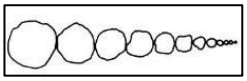


Figura 17: Suelo bien graduado

Fuente: (Arregui, 2017)

- **Suelo mal graduado:** Graduación uniforme de tamaños (Arregui, 2017).

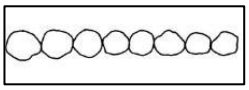


Figura 18: Suelo mal graduado

Fuente: (Arregui, 2017)

- **Suelo con graduación discontinua:** Graduación discontinua (Arregui, 2017).



Figura 19: Suelo con graduación discontinua

Fuente: (Arregui, 2017)

2.5.2.3 Por hidrómetro

La prueba se lleva a cabo en partículas de suelo más pequeñas que el tamiz No. 200. El diámetro de las partículas se calculará de acuerdo con la ley de Stokes con base en el método de sedimentación, y se puede obtener una medición continua del tamaño de

las partículas. La ley de Stokes se basa en dar la velocidad de sedimentación de una partícula esférica sólida en un líquido**Fuente especificada no válida.**.

2.5.3 Ensayo ASTM D 2487

Obteniendo los resultados de los ensayos ASTM D 2216 y ASTM D 422, podemos obtener el tipo de suelo de nuestra muestra usando el sistema de clasificación de esta norma (clasificación SUCS) (ASTMD2487, 2017).

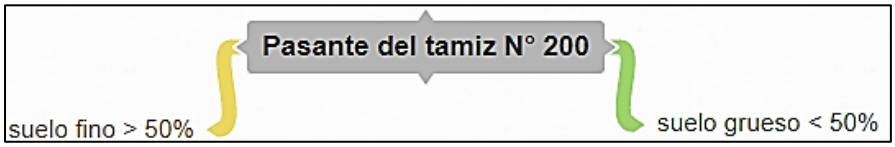


Ilustración 5:pasante del tamiz N° 200 para clasificación SUCS

Fuente: creación propia

Tabla 7:Nomenclatura de cada tipo de suelo

Fuente: creación propia

G: grava	W: bien graduado
S: arena	P: mal graduado
M: limo	H: alta plasticidad
C: arcilla	L: baja plasticidad
	O: orgánico

Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests[A]				Group Symbol
COARSE-GRAINED SOILS	Gravels (More than 50 % of coarse fraction retained on No. 4 sieve)	Clean Gravels (Less than 5 % fines[C])	Cu ≥ 4 and 1 ≤ Cc ≤ 3[D]	GW
			Cu < 4 and/or [Cc < 1 or Cc > 3][D]	GP
		Gravels with Fines (More than 12 % fines[C])	Fines classify as ML or MH	GM
			Fines classify as CL or CH	GC
More than 50 % retained on No. 200 sieve	Sands (50 % or more of coarse fraction passes No. 4 sieve)	Clean Sands (Less than 5 % fines[H])	Cu ≥ 6 and 1 ≤ Cc ≤ 3[D]	SW
			Cu < 6 and/or [Cc < 1 or Cc > 3][D]	SP
		Sands with Fines (More than 12 % fines[H])	Fines classify as ML or MH	SM
			Fines classify as CL or CH	SC
FINE-GRAINED SOILS	Silts and Clays Liquid limit less than 50	inorganic	PI > 7 and plots on or above “A” line[J]	CL
			PI < 4 or plots below “A” line[J]	ML
		organic	$\frac{\text{Liquid limit – oven dried}}{\text{Liquid limit – not dried}} < 0.75$	OL
50 % or more passes the No. 200 sieve	Silts and Clays Liquid limit 50 or more	inorganic	PI plots on or above “A” line	CH
			PI plots below “A” line	MH
		organic	$\frac{\text{Liquid limit – oven dried}}{\text{Liquid limit – not dried}} < 0.75$	OH
HIGHLY ORGANIC SOILS	Primarily organic matter, dark in color, and organic odor			PT

Figura 20: clasificación de suelo

Fuente: (ASTMD2487, 2017)

2.5.4 Ensayo ASTM D 698

El ensayo Proctor estándar obtiene la densidad seca máxima y la humedad optima.

a) Se usa un molde cilíndrico de un litro que se llena con 3 capas de material compactadas con una masa de 2.5 kg que se deja caer de una elevación de 305 mm.
b) El material se seca y tamiza por el tamiz de 20 mm y luego humedecerlo con diversos valores de humedad, una por cada muestra.
c) Para la compactación de cada capa de material se emplean 25 golpes de la maza distribuidos homogéneamente sobre el área del cilindro.
d) Una vez compactado el material, se enraza el molde y se mide la densidad y humedad de una muestra del molde.
e) La prueba de compactación puede darse por finalizada una vez que se obtienen 5 puntos que definen una curva que relaciona la densidad seca con la humedad (ASTM D698, 2020).

2.6 Esfuerzo de corte del suelo

El esfuerzo cortante es una fuerza interna del suelo que actúa de forma tangencial a la superficie, esta fuerza se da en el plano de corte. La teoría de Coulomb detalla que el suelo presenta fallas en su estructura cuando el esfuerzo normal sobrepase su límite máximo (Jing, 2017).

Ecuación 18: esfuerzo cortante del suelo según Coulomb

Fuente: (Jing, 2017)

$$\tau = c + \sigma tan\phi$$

Dónde:
τ: esfuerzo cortante del suelo según la teoría de Coulomb (gr/cm^2)
σ: esfuerzo normal del suelo (gr/cm^2)
c: cohesión del suelo (gr/cm^2)
ϕ: Angulo de fricción del suelo (°)

La fórmula anterior establecida por Coulomb fue modificada por Terzaghi, quien sustituyo la presión normal del suelo por la presión efectiva del suelo (Jing, 2017).

Ecuación 19: esfuerzo cortante del suelo según Terzaghi

Fuente: (Jing, 2017)

$$\tau = c' + \sigma' tan\phi'$$
$$\tau = c' + (\sigma - u) tan\phi' \quad \textit{(suelos saturados)}$$

$$\tau = c' + (\sigma - u)tan\phi' + (u - ua)tan\phi' \text{ (suelos parcialmente saturados)}$$

Dónde:
τ: esfuerzo cortante del suelo según la teoría de Terzaghi (gr/cm²)
σ': esfuerzo normal efectivo del suelo (gr/cm²)
c': cohesión del suelo (gr/cm²)
ϕ': Angulo de fricción del suelo (°)
u: presión de poros o de agua intersticial
ua: presión del aire intersticial
σ1: esfuerzo normal máximo.
σ3: esfuerzo normal mínimo.

El Círculo de Mohr se conforma a partir de los resultados y cálculos obtenidos del ensayo de corte en el suelo como el ensayo de compresión triaxial en arenas y arcillas que puede ser:

- Prueba no consolidada no drenada (UU)
- Prueba consolidada drenada (CD)
- Prueba consolidada no drenada (CU) (Díaz, 2018)

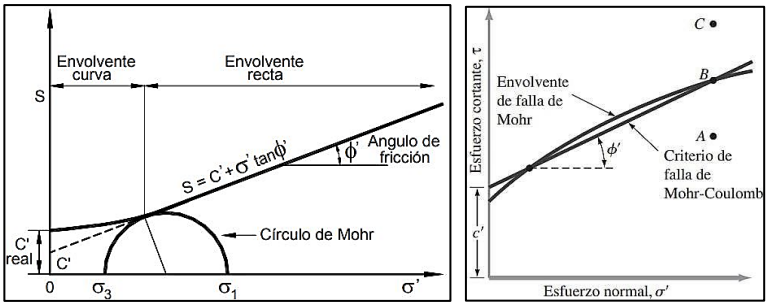


Figura 21: circulo, envolvente de falla y criterio de rotura de Mohr

Fuente: (Díaz, 2018)

2.6.1.1 Esfuerzo normal efectivo del suelo

El suelo se somete a carga y descarga por una fuerza de compresión el cual desplaza el agua fuera de los vacíos. La resistencia del suelo es su capacidad ultima ante la carga aplicada. Es la resta del esfuerzo normal que este dado por la carga transmitida a las partículas sólidas del suelo y la presión de poros debido a la presión del agua en los espacios vacíos (Bernal, 2018).

Ecuación 20: esfuerzo normal efectivo del suelo

Fuente: (Bernal, 2018)

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

Dónde:
σ': esfuerzo normal efectivo del suelo (gr/cm²)

σ: esfuerzo normal del suelo (gr/cm²)
u: presión de poros (gr/cm²)

2.6.1.2 Angulo de fricción del suelo

Este depende del grado de uniformidad de las partículas del suelo, tamaño, forma de los granos y acomodo de las partículas. En el caso de las arenas el ángulo de fricción interna varía entre 25° a 40°. En muestras inalteradas (triaxiales o corte directo) los valores varían según el grado de consistencia o compacidad del suelo, la densidad relativa del suelo se puede conocer a través del ensayo SPT por el número de golpes sobre pie (Pinto, 2018).

Ecuación 21:Coeficiente de rozamiento

Fuente: (Pinto, 2018)

$$tan\phi = \frac{\propto}{e}$$

Dónde:
∝: Constante que varía entre 0.325 a 0.6 (depende del suelo)
e: índice de vacíos

Densidad Relativa	Resistencia a la Penetración (golpes/pie)
Muy suelta	0 – 4
Suelta	4 – 10
Media	10 – 30
Densa	30 – 50
Muy densa	> 50

Figura 22:valores referenciales de densidad relativa o consistencia del suelo

Fuente: (Hurtado, 2015)

Tabla 8: valores referenciales del ángulo de fricción interna del suelo

Fuente: (Pinto, 2018)

Tipo de suelo	Consistencia	ϕ (°)
arena gruesa o arena con grava	Compacta	40
	Suelta	35
arena media	Compacta	40
	Suelta	30
limo arenoso o arena fina	Compacta	30
	Suelta	25
limo uniforme	Compacta	30

	Suelta	25
arcilla o limo	Suave a mediana	20
arcilla limosa	Suave a mediana	15
arcilla	Suave a mediana	10

2.6.1.3 Cohesión del suelo

Es la adhesión de las partículas de suelo gracias a la atracción que hay entre ellas por la acción de las fuerzas moleculares. Los suelos no cohesivos como la arena tienen una cohesión bastante pequeña (Badillo, 2010).

En suelos granulares en los que no existe ningún tipo de cementante o material que logre crear adhesión, la cohesión se implica igual a 0 y a dichos suelos se les llama Suelos no Cohesivos (Frankie, 2014).

Los suelos cohesivos, tienen propiedades de cohesión y plasticidad, tienen la posibilidad de ser granulares con parte de arcilla y limo, que se les imparte cohesión y plasticidad (Frankie, 2014).

Soil Type and SPT Blow Counts		Undisturbed Soil	
		Cohesion (psf)	Friction Angle (°)
Cohesive soils			
Very soft	(<2)	250	0
Soft	(2–4)	250–500	0
Firm	(4–8)	500–1,000	0
Stiff	(8–15)	1,000–2,000	0
Very stiff	(15–30)	2,000–4,000	0
Hard	(>30)	4,000	0
Cohesionless soils			
Loose	(<10)	0	28
Medium	(10–30)	0	28–30
Dense	(>30)	0	32
Intermediate soils			
Loose	(<10)	100	8
Medium	(10–30)	100–1,000	8–12
Dense	(>30)	1,000	12

Figura 23: cohesión del suelo

Fuente: (Frankie, 2014)

Existen dos tipos de cohesión:

- **Cohesión verdadera:** Es el resultado del enlace entre partículas (Frankie, 2014).
- **Cohesión aparente:** En los suelos no saturados el agua en los poros produce

adherencia por presión negativa o fuerzas capilares (Frankie, 2014).

Tabla 9:cohesión de la arena

Fuente: (Frankie, 2014)

Densidad	Época	Cohesión aparente KN/m2		
		arena fina	arena media	arena gruesa
suelta	seca	6.5	3	1
	húmeda	8.5	5.5	4.5
densa	seca	8.5	4	2
	húmeda	10.5	6.5	5.5

2.6.1.4 Presión de poros

La presión de poros es la presión del agua en los poros del suelo. La presión de poros reduce los esfuerzos efectivos en medio de las partículas, trata de separarlas y reduce la resistencia a la fricción (Hurtado, 2015).

Ecuación 22:Presión de poros

Fuente: (Hurtado, 2015)

$$u = \gamma_w * Z_w$$

Dónde:
γ_w*: peso unitario del agua*
Z_w*: profundidad vertical del punto debajo del nivel freático*

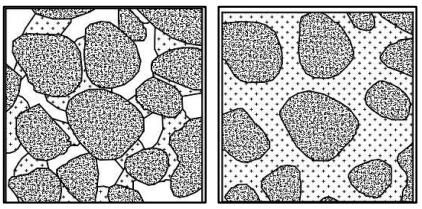


Figura 24:a) No saturado (tensión de agua en poros une las partículas) y b) Saturado (tensión de agua en poros separa las partículas)

Fuente: (Hurtado, 2015)

La presión de poros se incrementa en los taludes en temporadas de lluvias y se reduce en temporadas de sequía. Es primordial cuantificar la alteración temporal y espacial de la presión de poros en los taludes. Las fuerzas resultantes de los efectos de tensión superficial son de tensión en el agua y producen presiones de poro negativas (menores que la presión atmosférica), dicha tensión se incrementa una vez que el nivel de saturación reduce (Hurtado, 2015).

2.6.1.5 Succión

La succión describe la conducta de los suelos no saturados y la existencia de presiones de poro negativas. La succión, está compuesta de la succión matricial y osmótica, la suma de estos es igual a la succión total. La succión podría ser expresada en diferentes unidades como en energía por unidad de masa tales como J/kg, en energía por unidad de volumen como J/m3 o Pa, o energía por unidad de peso J/N (León, 2019).

La succión matricial es la diferencia entre la presión del viento y la presión de poros, y la succión osmótica es dependiente de las propiedades químicas del fluido en los poros. La Succión total es la energía solicitada para desplazar una partícula de agua a partir del suelo a un estado de vapor (León, 2019).

2.6.1.6 Coeficiente de permeabilidad

Es la facilidad con la que el suelo fluye por medio de un material, es dependiente del tamaño de los vacíos o poros, granulometría y las propiedades del fluido. Es alto en gravas y baja en arcillas (Camacho, 2021).

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 25:tamaño de poros y coeficiente de permeabilidad en varios suelos

Fuente: (Camacho, 2021)

2.7 Suelo del talud modelado

En el presente estudio se usará suelo arenoso de San Antonio de Pichincha, una parroquia perteneciente a la ciudad de Quito, se obtuvo el material de una ferretería de Quito.

2.7.1 Formaciones geológicas de San Antonio de Pichincha

La cangahua (ceniza de pómez) es la formación que más se encuentra en el territorio con el 58.89% de San Antonio de Pichincha. El territorio posee pendientes entre los 3° hasta los 50° con pendientes planas, moderadas y pendientes altas (Medina, 2021).

FORMACIÓN	DESCRIPCIÓN	SUPERFICIE KM^2	%
Formaciones no determinadas	Están conformados por depósitos aluviales, depósitos lagunares, volcano sedimentos, cangahua sobre volcánico, terraza indiferenciada.	50.86	44,52
Macuchi	Está conformada por lava con amigdaloides, basalto con amigdaloides.	4,50	3,94
Cangagua	Está conformado por ceniza, lapilli de pómez	58.89	51,54
TOTAL		114.25	100,00

Figura 26: formaciones geológicas de San Antonio de Pichincha

Fuente: (Medina, 2021)

2.7.2 Suelo de San Antonio de Pichincha

Posee suelos areno francosos con el 49% de la superficie parroquial. Estos suelos presentan baja fertilidad, representan el 12% de la superficie territorial. La mayor parte de este suelo se encuentra localizada al sureste de la parroquia (Gallego, 2013).

TIPO DE SUELO			
TIPO	DESCRIPCIÓN	SUPERFICIE Km^2	%
Suelo Misceláneo	Misceláneos de diferentes naturalezas. Es decir, sectores en los que no hay suelo o bien es incipiente. También puede tratarse de sectores inaccesibles con pendientes muy pronunciadas en los cuales los suelos son de escaso desarrollo. (David Me la información).	56.00	49,00
Aérea urbana consolidada	Son suelos totalmente urbanizados y cubiertos de hormigón.	4.00	2,00
Inceptisol	Son suelos jóvenes pocos desarrollados en la que es comienzo o principio del desarrollo del perfil es evidente. Más habituales en los climas húmedos existen desde el Ártico hasta el trópico.	6.00	6,00
Entisol	Son suelos jóvenes con un desarrollo limitado que exhiben propiedades de la roca madre. La productividad oscila entre los niveles muy altos para algunos suelos formados en depósitos fluviales recientes a niveles muy bajos para los que se forman en la arena voladora en las laderas.	48.00	43,00
	TOTAL	114.00	100,00

Figura 27: suelo de San Antonio de Pichincha

Fuente: (Medina, 2021)

Textura del suelo	Características	has	%
Areno francoso	Suelos areno francosos, drenaje excesivo, muy superficial, ph neutro, fertilidad baja.	3.109,07	49,08
Franco	Suelos francos en la superficie y franco arcillosos a profundidad, de color oscuro, drenaje moderado, poco profundos, ph ligeramente ácido, fertilidad alta.	778,35	12,29
Franco arenoso	Suelos franco arenosos en superficie y areno francosos a profundidad, bien drenados, poco profundos, muy poca pedregosidad, presencia de grava fina de pómez, ph medianamente alcalino, fertilidad baja.	2.351,37	37,12
Franco arcillo arenoso	Suelos franco arcillo-arenosos en la superficie y a profundidad, bien drenados, poco profundos, poca pedregosidad, ph neutro, fertilidad baja.	95,58	1,51
	Total	6.334,37	100,00

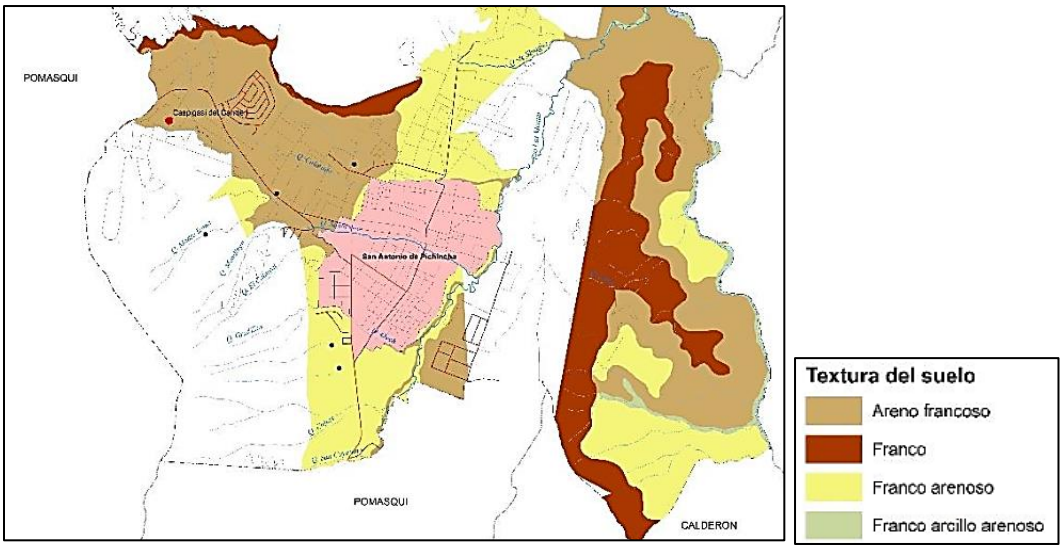


Figura 28: textura del suelo de San Antonio de Pichincha (suelo franco arenoso)

Fuente: (Gallego, 2013)

2.8 Suelo estándar

Las normas ASTM que usaremos para comprobar si nuestro suelo es estándar son:

Tabla 10:normas ASTM para verificar si nuestro suelo es estándar

Fuente: (ASTMD5268, 2019) , (ASTMD6459, 2019)

	NORMA	DESCRIPCIÓN
SUELO ESTANDAR	ASTM D 5268	Especificación estándar para tierra vegetal utilizada para fines de construcción y jardinería
	ASTM D 6459	Método de prueba estándar para la determinación del rendimiento del producto laminado para el control de la erosión (RECP) en la protección de laderas de la erosión inducida por la lluvia

El suelo estándar según la norma ASTM D 7322 y ASTM D 5268 debe cumplir los siguientes parámetros:

Tabla 11:parámetros del suelo estándar

Fuente: (ASTMD7322, 2017) , (ASTMD5268, 2019)

Propiedad	capa superficial de suelo
PH	5.5 - 7.5
materia orgánica	3 - 10%
contenido de humedad	10 - 20%
arena: material que pasa en un tamiz de 2 mm (N° 10) y retenido en un tamiz de 0.075 mm (N° 200)	20 - 60%
finos: material que pasa en un tamiz de 0.075 mm (N° 200)	35 - 70%

concentración de sal soluble	< 2.5 mmhos/cm
potasio	3 - 10% CIC
magnesio	12 - 25% CIC
calcio	55 - 75% CIC
sodio	< 5% CIC

El suelo estándar según la norma ASTM D 7101 y ASTM D 6459 debe cumplir los siguientes parámetros:

Particle size (mm)	Sand	Loam	Clay
D_{100} (mm)	$25 > D_{100} > 3.0$	$10 > D_{100} > 0.3$	$3.0 > D_{100} > 0.02$
D_{85} (mm)	$4.0 > D_{85} > 0.8$	$0.8 > D_{85} > 0.08$	$0.08 > D_{85} > 0.003$
D_{50} (mm)	$0.9 > D_{50} > 0.2$	$0.15 > D_{50} > 0.015$	$0.015 > D_{50} > 0.0008$
D_{15} (mm)	$0.3 > D_{15} > 0.01$	$0.03 > D_{15} > 0.001$	$D_{15} < 0.002$
Plasticity Index	N/A (nonplastic)	$2 < PI < 8$	$10 < PI$

Figura 29:parámetros del suelo estándar

Fuente: (ASTMD7101, 2013) , (ASTMD6459, 2019)

3. CAPÍTULO III: TALUDES

3.1 Talud

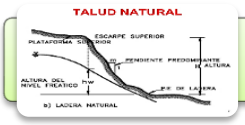
Masa de tierra que posee una inclinación con respecto a un eje horizontal. Se conoce como ladera cuando su conformación es de origen natural y talud cuando se conformó de manera artificial por mano del hombre. Estos pueden fallar debido a muchos factores como cambios en la topografía, precipitaciones, vientos fuertes y eventos sísmicos (Torres B. , 2019).



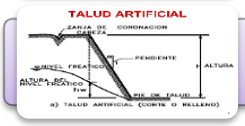
Fotografía 2: talud

Fuente: (Torres B. , 2019)

3.2 Tipos de taludes



Naturales: Son formados por la acción de la naturaleza a través de la historia geológica, estos son conocidos como laderas.



Artificiales: Necesitan de la intervención de la mano del hombre y son ejecutados para construir carreteras.

Ilustración 6: tipos de taludes

Fuente: (Mesa, 2020)

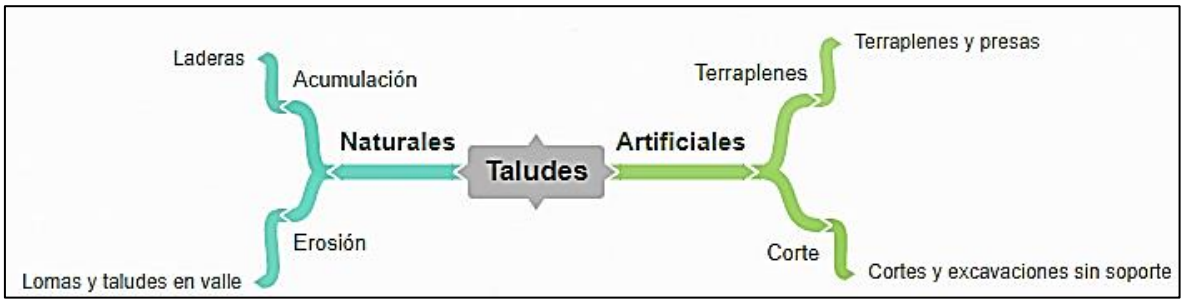


Figura 30:clasificación de taludes

Fuente: (Mesa, 2020)

3.3 Partes del talud

Partes del talud	**Pie:** Es la parte inferior del talud generalmente de forma cóncava
	Cabeza: Es la parte superior del talud.
	Altura: Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza.
	Altura de nivel freático: Es la distancia vertical desde el pie hasta el nivel con presencia de agua.
	Pendiente: Es el grado de inclinación del talud.

Ilustración 7: partes del talud

Fuente: (Mesa, 2020)

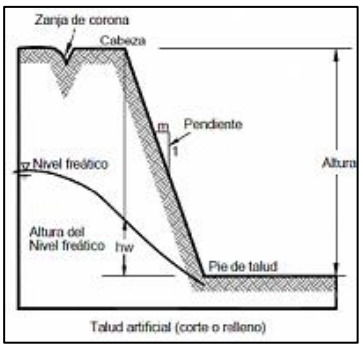


Figura 31: partes del talud

Fuente: (Mesa, 2020)

3.4 Deslizamientos de suelo en taludes

La naturaleza del material que constituye a un talud tiende a deslizarse hacia abajo por las fuerzas gravitacionales, actividad sísmica o erosión, que son resistidos por el esfuerzo cortante del material. La inestabilidad pasa una vez que la resistencia al corte no es suficiente para contrarrestar las fuerzas que tienden a ocasionar el desplazamiento durante cualquier área del talud (Pineda, 2016).

3.4.1 Resistencia al esfuerzo cortante como causa de deslizamiento

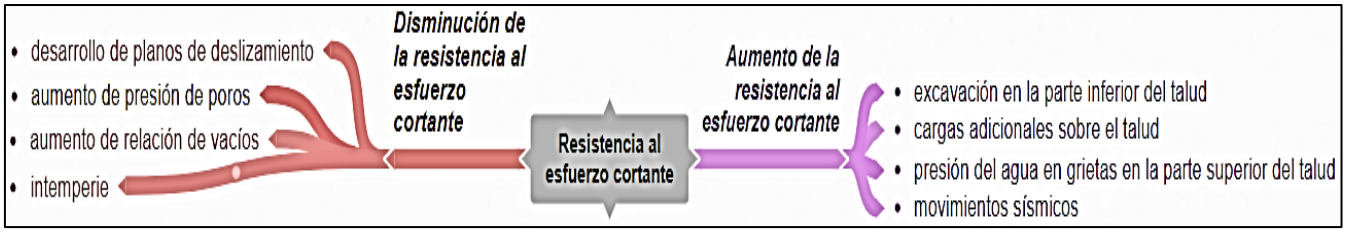


Figura 32:resistencia al esfuerzo cortante como causas de deslizamientos

Fuente: creación propia

3.4.2 Causas físicas de deslizamientos

Causas fisicas	- lluvias intensas
	- derretimiento de la nieve
	- precipitación intensa prolongada
	- terremoto
	- erupción volcánica
	- inundaciones
	- intemperismo

Ilustración 8:Causas físicas de deslizamientos

Fuente: (Pineda, 2016)

3.4.3 Causas naturales de deslizamientos



Figura 33:Causas naturales de deslizamientos

Fuente: creación propia

3.4.4 Causas humanas de deslizamientos

Causas humanas	- excavación del talud
	- vaciado o llenado de embalses
	- deforestación
	- siembra de cultivos
	- minería
	- vibración artificial
	- fugas de agua de tuberías

Ilustración 9:Causas humanas de deslizamientos

Fuente: (Pineda, 2016)

3.4.5 Tipos de deslizamientos de suelo en taludes

Tabla 12:clasificación de deslizamientos según el tipo de movimiento

Fuente: (Pineda, 2016)

1- Desprendimientos (falls): resultantes de la acción de la gravedad, ocurren con velocidades elevadas.		
2- Vuelcos (toppling): rotación con basculamiento de placas de material rocoso; causado por la acción de la gravedad o presión de poros en fisuras.		
3- Deslizamientos (slides): Movimientos con superficies de ruptura bien definidas.	**3.1- Rotacionales:** En general ocurren con materiales homogéneos; la masa inestable es	**3.1.1- Simples:** una superficie de ruptura, plana o profunda.

	considerada rígida	
		3.1.2- Sucesivos: más de una superficie de ruptura; pueden ser progresivos o retrogresión.
	3.2- Traslacionales: Superficie de ruptura plana, relacionada con zonas de discontinuidades (fallo, contacto suelo/roca, estratificación); movimiento continuo.	
	3.3- Compuestos: ocurren en taludes naturales de suelos no homogéneos, con superficies de ruptura no lineales.	
4- Según el movimiento (flows): Movimientos continuos de suelos, rocas y /o detritos con zona de ruptura bien definida; material con comportamiento viscoso.	**4.1- Lentos (creep):** También denominados fluencia, ocurre en materiales con comportamiento plástico; movimientos continuos sin superficie de ruptura definida, bajo tensiones totales constantes.	**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.
	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.	**4.2.1- Corridas de tierra (flow slides):** 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**.**
5- Complejos: Envuelven varios tipos de movimientos; comunes en laderas inclinadas		

Tabla 13:clasificación de deslizamientos según las condiciones de deformación

Fuente: (Pineda, 2016)

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 preexistentes, que sufrieron deslizamientos anteriores. La resistencia del material tiende para la condición residual.

Tabla 14:clasificación de deslizamientos según las condiciones de presión de poros

Fuente: (Pineda, 2016)

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. Generación de excesos de presión de poros asociados al cizallamiento del material.

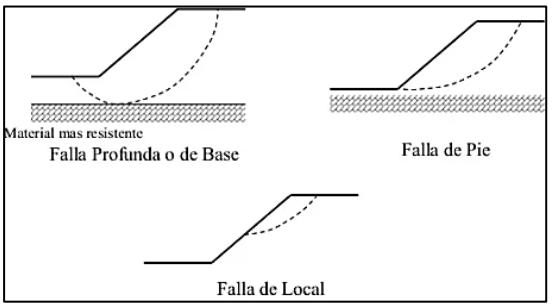


Figura 34:fallas de taludes

Fuente: (Quintero, 2018)

3.4.6 Geomantos e hidrosiembra de vetiver en el control de erosión y fallas de taludes

La hidrosiembra es un procedimiento innovador de cultivo de vegetación y está elaborado para el control de erosión y de forma indirecta en la estabilización de taludes. El geomanto ayuda a estabilizar la pendiente y mejora el incremento de la vegetación. El geomanto junto con el fertilizante y semillas actuarán como una capa absorbente, reteniendo suficiente humedad para permitir la germinación correcta de las semillas controlando la erosión del suelo. Países como Estados Unidos usan la hidrosiembra de pasto vetiver debido a que el proceso es veloz, eficiente y económico (Arosemena, 2018).

El geomanto actúa como diques en miniatura que previene que las semillas o plántulas sean arrastradas por la lluvia y el aire. El geomanto rompe la escorrentía de las fuertes lluvias y disipa la energía del agua que fluye, promueve el aumento de vegetación al absorber agua y mantiene el suelo húmedo. Las ventajas de ejercer técnicas de Bioingeniería como la utilización de hidrosiembra y geomantos en la aceleración de la vegetación ayuda a mantener el control de la erosión del suelo y estabilizar el suelo (Bedolla, 2015).

3.5 Talud modelado

Es un talud que se realiza en laboratorio con fines de estudio, se elabora por medio de elementos que conformen el talud con la pendiente que se quiere obtener (caja de prueba). Se usa muestras de suelo para formar la superficie del talud a ensayar. La caja de prueba del suelo debe ser un recipiente hermético que no tenga fugas de material (Cereno, 2020).

3.5.1 Ejemplo de taludes modelados

En Filipinas, en el 2015, se realizó un estudio que tuvo como objetivo evaluar la efectividad del uso de mantos con vegetación para controlar la erosión del suelo en una pendiente representativa en diferentes series de pruebas. Para representar la pendiente cubierta con mantos y vegetación, se construyeron cajas de prueba con una pendiente de 65 grados y un área de superficie con una dimensión de 106 cm de largo por 63 cm de ancho. Se construyeron tres cajas de prueba. Las cajas de prueba se cubrieron con tierra. Estas cajas de prueba cubiertas solo con tierra fueron sometidas inicialmente a un aparato de riego por goteo artificial para las pruebas de suelo desnudo. Después de las pruebas de suelo desnudo, las cajas de prueba se volvieron a cubrir con tierra y se cubrieron con hidrosiembra combinada para otros tres conjuntos de muestras. Se dejó que la vegetación floreciera durante 21 días antes de someterla al aparato de riego por goteo. Se recogió y pesó la cantidad de suelo que salpicó por la escorrentía de los contenedores. Los datos recolectados se utilizaron para comparar la erosión en suelo desnudo con la combinación de mantos y vegetación como protección de taludes (Cereno, 2020).

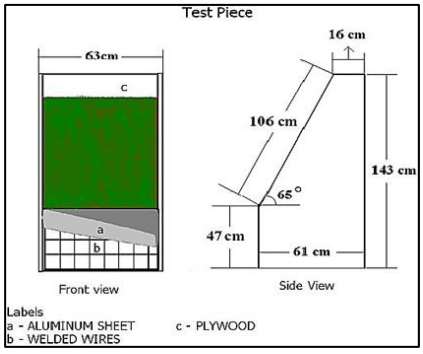


Figura 35: talud modelado de la investigación

Fuente: (Cereno, 2020)

4. CAPÍTULO IV: PRECIPITACIÓN

4.1 Precipitación

La precipitación es la caída de agua de la atmósfera al área de la tierra. Se genera una vez que las gotas de agua que conforman las nubes se enfrían acelerándose la condensación y uniéndose las gotitas de agua para conformar gotas más grandes que terminan por precipitarse a la extensión de la tierra en razón a su más grande peso. La precipitación que llega al área de la tierra puede tomar muchas formas diferentes, como lluvia, llovizna, nieve y granizo (Navarro, 2021).



Fotografía 3:Precipitación

Fuente: (Navarro, 2021)

La precipitación es el volumen de agua lluvia que cae sobre un área en un lapso, la cual tiene una predominación directa en la infiltración y en el sistema del agua subterránea, y perjudica el equilibrio de taludes. Estas lluvias son agrupaciones de nubes que ocurren en el sector de convergencia de vientos (Mantilla, 2020).

4.1.1 Lluvias promedio y máximas anuales

Las zonas de mayores precipitaciones anuales muestran más inconvenientes en la seguridad de laderas, acuíferos colgados con más grandes caudales de flujo subterráneo y materiales más meteorizados (Mantilla, 2020).

4.1.2 Régimen de lluvias

Cada zona tiene un sistema de lluvias que se repite de forma semejante todos los años. El sistema de lluvias de una zona definida podría ser distinto al de un lugar específico en la misma zona, en especial en regiones de alta montaña y se debería obtener la información de las lluvias en el lugar del talud (Mantilla, 2020).

4.1.3 Lluvias acumuladas

La ocurrencia de lluvias en varios días seguidos o con pocos días de diferencia, puede crear fenómenos de acumulación de agua subterránea, gracias a que el talud no ha

drenado el agua infiltrada de lluvia una vez que pasa la siguiente y se genera un fenómeno de acumulación progresiva y ascenso del grado freático (Mantilla, 2020).

4.1.4 Formación de la precipitación

La temperatura de la troposfera se reduce mientras se incrementa la altitud (cuanto más alto vamos, más gélido se vuelve), por lo que una vez que la masa de aire asciende, el aire se satura. Cuando las gotas de agua se adhieren a los núcleos de condensación y la masa de aire en la zona no deja de subir, se formará una masa de nubes, puesto que la cantidad de aire saturado y condensado ocasionalmente aumentará en altura, se produce la precipitación cuando la masa de aire se condensa (Lizárraga, 2018).

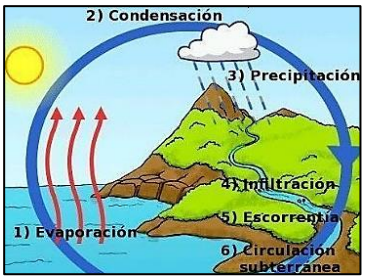


Figura 36:formación de la precipitación

Fuente: (Lizárraga, 2018)

4.1.5 Clasificación de la precipitación

Las distintas precipitaciones que se produce en la atmósfera se clasifican en precipitación de orográfica, precipitación convectiva y precipitación ciclónica. En Quito en general se produce una precipitación convectiva y orográfica (Villamar, 2021).

- **Precipitaciones convectivas:** Son causadas por el ascenso de aire cálido más el liviano hasta su condensación y la diferencia de temperatura podría ser el impacto de calentamientos diferenciales en el área del aire, generándose la nubosidad, el principio de las precipitaciones a modo de chubascos o tormentas (Villamar, 2021).
- **Precipitaciones orográficas:** La altura del aire es creado por la existencia de una cadena montañosa. Los vientos procedentes del mar y cargados con aire húmedo se hallan con una cadena montañosa que eleva a capas más frías, condensándose el vapor y formando nubes (Villamar, 2021).

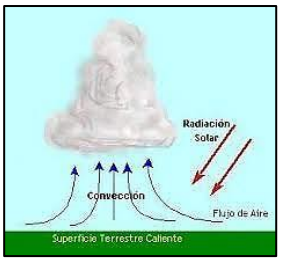


Figura 37: precipitación convectiva

Fuente: (Villamar, 2021)



Figura 38: precipitación orográfica

Fuente: (Villamar, 2021)

4.1.6 Tipos de hidrometeoros

Los hidrometeoros están formados de partículas de agua líquida o sólida que tienen la posibilidad de estar suspendidas en la atmósfera, ser arrastradas por el aire a partir del área de la Tierra o estar depositadas sobre otros objetos. Según el tipo de hidrometeoro se puede pronosticar la cantidad de agua que cae en forma de lluvia, llovizna o granizo en un día [precipitación (ml/día)] (García J. , 2017).

Tabla 15:tipos de hidrometeoros

Fuente: (García J. , 2017)

Hidrometeoro	Tamaño	Características
lluvia	0.5 a 6 mm	gotas de agua en estado líquido
		descienden a velocidades superiores a 2 m/s
		lluvia ligera con intensidad < 2.5 mm/h
		lluvia moderada con intensidad 2.5 mm/h a 7.5 mm/h
		lluvia fuerte con intensidad > 7.5 mm/h
llovizna	< 0.5 mm	gotas dispersas
		se dan antes o después de la lluvia
chubasco o aguacero		estado líquido o sólido
		duración corta
		variación de intensidad
granizo	5 a 50 mm	formados en el interior de las nubes
		formas variadas (esféricas o irregulares)

rocío	gotas de agua que se condensan sobre superficies frías a partir del vapor del aire circundante
nieve	agrupación de cristales de agua
agua nieve	nieve en estado de fusión o combinación de nieve y lluvia
neviza	nieve granulada que se compacta por el cambio de temperatura
escarcha	pequeños cristales de hielo en forma de escamas o agujas
	se forman a partir de la condensación del vapor de agua al aire

4.1.7 Parámetros de precipitación

Intensidad: Es la tasa temporal de precipitación, se mide en mm/h y su valor varía a lo largo de la precipitación.

Duración: Es el tiempo transcurrido entre el inicio y el fin de la precipitación, se mide en horas.

Periodo: Es un período de tiempo dentro de la duración de la precipitación. Se seleccionan períodos como 10 min, 30 min, 60 min, 120 min, 240 min.

Ilustración 10: parámetros de la precipitación

Fuente: (Villamar, 2021)

4.2 Aparatos de medida de precipitación

4.2.1 Pluviómetro

La unidad de medida de los pluviómetros es milímetros, lo cual equivale a litros por metro cuadrado. Las gotas de agua almacenadas en el recipiente marcan la proporción de precipitación que cae en milímetros. Por cada milímetro medido, lloverá un litro de agua por metro cuadrado de suelo. Este seguimiento se da cada 12 horas. El dispositivo tiene una abertura, embudo y el recipiente (Zaitsev, 2021).



Fotografía 4:Pluviómetro

Fuente: (Zaitsev, 2021)

4.2.2 Pluviógrafo

La función del pluviógrafo es registrar la cantidad de agua que cae en un tiempo determinado en el gráfico, de modo que se pueda determinar la distribución e intensidad de la lluvia, ya que puede conocer la hora de inicio y finalización de la lluvia y su intensidad. Es un instrumento que mide la cantidad de agua que cae durante un período de tiempo. Consiste en un contenedor El extremo superior del contenedor tiene una entrada con un área de 200 centímetros cuadrados. El agua ingresa al colector a través del embudo para mantener la sedimentación. La cantidad de precipitación se mide con un cilindro graduado en milímetros (Carreno, 2018).

4.2.2.1 Tipos de pluviógrafo

- **Pluviógrafo de balanza:** el peso del agua recolectada en un recipiente mueve un dispositivo conectado a un registrador (Carreno, 2018).
- **Pluviógrafo de flotador:** el nivel de agua mueve el flotador conectado al registro (Carreno, 2018).
- **Pluviógrafo de cubeta basculante:** la lluvia es almacenada en 2 cubetas contiguas en un pivote que se va llenando y vaciando alternadamente por el mismo peso del agua, este movimiento está conectado a un circuito eléctrico (Carreno, 2018).

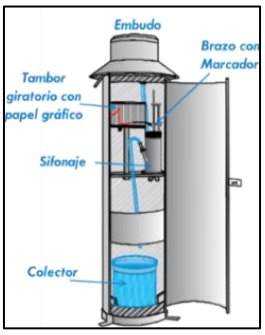


Figura 39: Pluviógrafo
Fuente: (Carreno, 2018)

4.2.3 Unidades de medida

La precipitación se mide en milímetros de columna de agua o litros por unidad de área (m^2), la altura de la capa de agua recogida en el plano se mide en mm o lt / m^2. Un mm de lluvia equivale a 1 litro de agua por metro cuadrado (Hérnandez, 2016).

$$1mm = 1\ lt/m^2$$

4.3 Ciclo hidrológico en el talud

Parte de la lluvia se infiltra y parte corre por el área como escorrentía. El agua subterránea (agua acumulada) es crítica para la estabilidad de un talud (Cobo, 2018).

4.3.1 Infiltración

La infiltración es el proceso por el que el agua en el área de la tierra entra en el suelo. La tasa de infiltración es una medida de la tasa a la cual el suelo es capaz de absorber la precipitación. Se mide en pulg/h o mm/h. Está relacionada con la conductividad hidráulica saturada del suelo cercano a el área. La tasa de infiltración puede medirse utilizando un infiltró metro (Cobo, 2018).

Existen dos condiciones de frontera:

- **Superficie del talud inundada:** intensidad de lluvia mayor que la cantidad de agua que se infiltra en el suelo (una parte de la lluvia se infiltra y la otra se hace escorrentía). La condición de frontera es cero o saturación al 100% (Cobo, 2018).
- **Infiltración controlada:** intensidad de lluvia menor que la cantidad de agua que se infiltra en el suelo (Cobo, 2018).

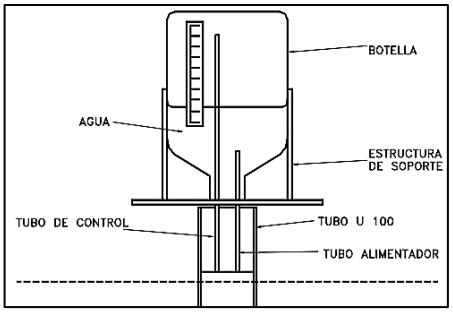


Figura 40:infiltrómetro

Fuente: (Cobo, 2018)

4.3.1.1 Factores de infiltración

Factores de infiltración	- cantidad, intensidad y tipo de precipitación
	- ritmo de precipitación
	- pendiente superficial
	- permeabilidad de suelos y rocas
	- cantidad y tipo de vegetación

Ilustración 11:factores de infiltración

Fuente: (Cobo, 2018)

4.3.1.2 Tiempo de lluvia que genera infiltración

La lluvia genera más deslizamientos en una arcilla que en una arena, gracias a las diferencias de infiltración. El tiempo es inversamente proporcional a la permeabilidad (Mantilla, 2020).

4.3.1.3 Humedad superficial que genera infiltración

La humedad del suelo puede decidir la probabilidad de agrietamiento de tensión en determinados suelos areno arcillosos y areno limosos bastante propensos a efectos de cambios de humedad. Los componentes del medio ambiente y físicos que determinan el comportamiento de la infiltración dependen de los 40 cm de suelo más superficial del talud (Mantilla, 2020).

Factores que intervienen en la humedad superficial	- características topográficas de la pendiente del talud
	- tipo de suelo
	- características climáticas
	- vegetación

Ilustración 12:factores que intervienen en la humedad superficial

Fuente: (Mantilla, 2020)

4.3.2 Escorrentía

Es el flujo de agua de lluvia que circula en la superficie del suelo después de que excede su capacidad de evaporación e infiltración. Esta infiltración excesiva ocurre cuando la tasa de precipitación en la superficie local es mayor que la cantidad de agua que puede filtrarse en la tierra. Este proceso físico también se denomina flujo superficial otoniano y es muy común en regiones áridas, dónde la intensidad de las lluvias tiende a tener suelos más impermeables (Caramaso, 2017).

4.3.2.1 Tipos de escorrentía

Escorrentia superficial	•Es la precipitación en el suelo que no es infiltrada por la gravedad.
Escorrentía subcutánea	•Es la precipitación osmótica en el suelo, que se almacena o se descarga como agua de manantial.
Escorrentía subterránea	•Es la precipitación que se filtra al nivel del agua subterránea.

Ilustración 13: tipos de escorrentía

Fuente: (Caramaso, 2017)

4.3.2.2 Ciclo de la escorrentía

a) **Período sin lluvias:** Después de un tiempo sin precipitaciones, la transpiración tiende a consumir el agua existente en la capa superficial y extraer el agua capilar (Iturralde, 2015).
b) **Inicio de la evapotranspiración por precipitación parada:** El agua es interceptada por la vegetación y la superficie. Una cantidad significativa de agua que proporciona su capacidad de almacenamiento (Iturralde, 2015).
c) **Precipitación máxima**: La cubierta vegetal casi nunca intercepta el agua, de hecho, toda la precipitación llega al suelo, por lo que la superficie del suelo se vuelve saturado (Iturralde, 2015).
d) **Después de la precipitación:** Cuando la lluvia termina de caer, el suelo acaba saturado, lo que provoca que se almacene en el suelo cantidades de agua significativas que pueden provocar aumento en la humedad del suelo. El suelo puede perder material al desprenderse con el agua de lluvia (Iturralde, 2015).

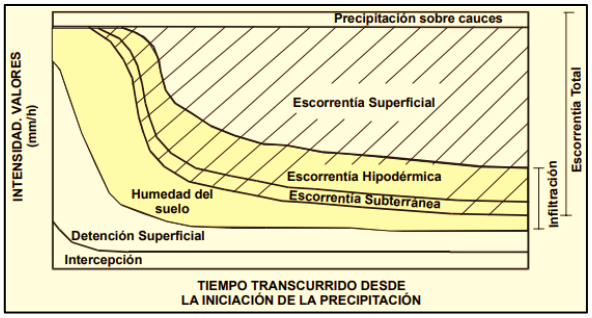


Figura 41: Evolución temporal del ciclo hidrológico.

Fuente: (Iturralde, 2015)

4.3.2.3 Factores que intervienen en la escorrentía

Factores meteorológicos: precipitación, viento y temperatura
Factores geográficos: localización geográfica y la morfología.
Factores hidrogeológicos: permeabilidad y la profundidad del suelo.
Factores biologicos: vegetación y acción humana.

Ilustración 14: factores que intervienen en la escorrentía.

Fuente: (Caramaso, 2017)

4.3.2.4 Cálculo de la escorrentía con datos de aforo

Se obtiene el valor del caudal en un punto determinado del río, este caudal forma parte de la escorrentía total del área de estudio de la cuenca. Se toma el caudal mínimo del año hidrológico (Iturralde, 2015).

4.3.2.5 Cálculo de la escorrentía con el coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía mide la proporción de lluvia total que fluye sobre la superficie (cantidad de lluvia que cae en un área) (Iturralde, 2015).

4.3.2.6 Variables que inciden en la escorrentía superficial

Ecuación 23:caudal

Fuente: (Rosales M. , 2013)

$$Q_E = \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{t}}$$

Dónde:
V: volumen de escorrentía superficial (m^3)
t: tiempo (s)

Ecuación 24: caudal especifico

Fuente: (Rosales M. , 2013)

$$q = \frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{A}}$$

Dónde:
Q: caudal de escorrentía superficial (m^3)
A: área de drenaje (m^2)

Ecuación 25: coeficiente de escorrentía superficial

Fuente: (Rosales M. , 2013)

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

Dónde:
ΔPn*: escorrentía superficial*
ΔP*: precipitación total*

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 42: tabla de Prevert para el coeficiente de escorrentía

Fuente: (Iturralde, 2015)

Ecuación 26: fórmula de Nadal para el coeficiente de escorrentía

Fuente: (Iturralde, 2015)

$$C = 0.25 * K_1 * K_2 * K_3$$

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 43: K1, K2 y K3.

Fuente: (Iturralde, 2015)

Ecuación 27: fórmula de Keler para el coeficiente de escorrentía

Fuente: (Iturralde, 2015)

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

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, mayor a 500 mm.

Ecuación 28: método racional para el coeficiente de escorrentía

Fuente: (Rosales M. , 2013)

$$C = \frac{Q_E}{i * A}$$

Dónde:
Q_E: *caudal de escorrentía*
i: intensidad de lluvia
A: área de drenaje

El método racional será correcto si la precipitación es uniforme en el tiempo y distribuida homogéneamente por toda la superficie del talud. Como esto nunca se cumple, se proponen factores correctores (Rosales M. , 2013).

- **Coeficiente reductor de área (ARF):** corrige el hecho de que la distribución de la precipitación no es uniforme geográficamente. Para superficies menores de 1000 km^2 se obtienen valores de 0.95 a 0.8 (Rosales M. , 2013).

Ecuación 29: coeficiente reductor de área

Fuente: (Rosales M. , 2013)

$$ARF = 1 - \frac{Log(superficie\ en\ km^2)}{15}$$

- **Coeficiente de uniformidad (K):** corrige el hecho de que la precipitación no es uniforme en el tiempo. Para tiempos de concentración menores de 24 horas, este factor K presenta valores de 1 a 1.8 (Rosales M. , 2013).

Ecuación 30:coeficiente de uniformidad

Fuente: (Rosales M. , 2013)

$$K = 1 + \frac{tc^{1.25}}{tc^{1.25} + 14}$$

Dónde:
tc: *tiempo de concentración en horas*

4.3.2.7 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración mide el tiempo que es necesario para que toda la superficie contribuya con escorrentía superficial en una parte considerada, se mide en min u horas (Rosales M. , 2013).

4.3.2.8 Periodo de retorno

Es el lapso de tiempo promedio en que el caudal es igualado o superado al menos una vez, en años (Rosales M. , 2013).

4.3.2.9 Altura de agua

Es la elevación alcanzada por el grado del agua, se expresa en m o cm (Rosales M. , 2013).

4.4 Ensayo de precipitación (ASTM D 7101)

Después de 2 meses cuando el Vetiver haya crecido cubriendo la superficie del talud y alcanzando máximo 20 cm de longitud en el tallo, procederemos a someter a los taludes modelados a un simulador de precipitaciones de laboratorio de 2 m de altura desde el punto más bajo del espécimen centrado sobre el área de prueba, el cual posee una pesera de vidrio con agua con perforaciones en su superficie que distribuye uniformemente gotas de 3 mm de diámetro, el simulador tendrá una capacidad de producir intensidades de precipitación de 224 mm/hr, siguiendo la norma ASTM D7101. Las franjas de geomantos se deben pesar y medir para determinar su masa por unidad de área siguiendo la norma ASTM D6475 y ASTM D6566, antes de colocarlos en el talud.

Con los resultados obtenidos se podrá realizar una comparación entre los taludes con geomantos temporales y permanentes con Vetiver, esto se determinará a través de la cantidad de suelo que es desprendido a causa de la precipitación, la cantidad desalojada de suelo se procederá a recoger y pesar, de esta forma se podrá evaluar la capacidad de rendimiento de cada geomanto con Vetiver.

Tabla 16:ensayo de precipitación

Fuente: (ASTMD7101, 2013)

TIPO	NORMA	DESCRIPCIÓN
ENSAYO DE PRECIPITACIÓN	ASTM D 7101	Método de prueba de índice estándar para la determinación de la capacidad del producto de control de la erosión laminado para proteger el suelo contra salpicaduras de lluvia y escorrentía asociada en condiciones de escala de referencia

4.5 Aparato de riego por goteo

Aplica agua a parcelas de manera similar a la precipitación natural, es una herramienta que se ha utilizado durante muchos años en estudios de erosión, infiltración y escorrentía. Todos los aparatos de riego por goteo son portátiles, cuentan con fuentes de agua, que permiten obtener una gran cantidad de precipitación en el momento y lugar necesario, cuentan con un mecanismo de aspersión, que puede proporcionar diferentes niveles de intensidad y cantidad de precipitación (Fogel, 2019).

Los aparatos de riego por goteo son recursos de indagación construidos para regar agua como lluvia natural, son de gran utilidad para obtener datos de erosión, escorrentía superficial e infiltración. Dichos modelos tratan de aproximarse a las propiedades y condiciones de una precipitación natural. El riego por goteo se originó en los años 60 tras haberse logrado conocer la dinámica y la física de la lluvia, se buscó reproducir tanto el tamaño de las gotas como el impacto de la energía cinética (Íbañez, 2020).



Fotografía 5: aparato de riego por goteo

Fuente: (Fogel, 2019)

4.5.1 Características del aparato de riego por goteo

Conviene que cada una de las propiedades físicas de la lluvia natural se reproduzcan lo más fielmente viable, es aceptable cierta elasticidad en aras de la simplicidad y de la economía de precios (Certa, 2019).

Las características son:

- **Tamaño de la gota:** las gotas de lluvia varían a partir de un tamaño insignificante en la niebla hasta 7 mm de diámetro. El diámetro medio de una gota es de 2 mm a 3 mm y cambia con la magnitud (Certa, 2019).

- **Rapidez de caída:** las gotas de lluvia al caer alcanzan una rapidez máxima una vez que la fuerza de aceleración gravitacional es igual a la resistencia de la gota que cae por medio del aire. La rapidez máxima está en función del tamaño de la gota e incrementa hasta 9 m/s para las gotas más grandes (Certa, 2019).
- **La energía cinética:** La energía cinética está en función del tamaño y de la rapidez de caída y se usa muchas veces como un parámetro deseable para un aparato debido a que se conoce que la energía cinética está relacionada con el impacto de la lluvia para provocar erosión. La energía cinética de la lluvia cambia con la magnitud, situándose el límite mayor a unos 75 mm/h (Certa, 2019).

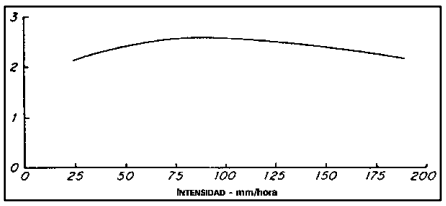


Figura 44:diámetro de la gota vs intensidad

Fuente: (Certa, 2019)

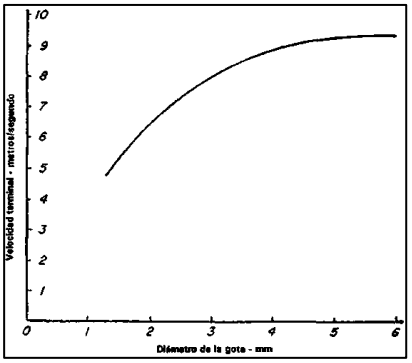


Figura 45: velocidad máxima vs diámetro de la gota

Fuente: (Certa, 2019)

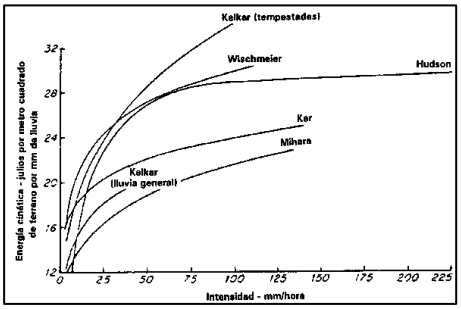


Figura 46: Energía cinética vs intensidad de Zimbabwe (Hudson); India (Kelkar); Trinidad (Ker); Japón (Mihara) y Estados Unidos (Wischmeier)

Fuente: (Certa, 2019)

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	8.93
13.00	6.68	7.40	7.98	8.30	8.58	8.75	8.90	8.96	9.02

Figura 47:Velocidad de caída de las gotas de lluvia según el tamaño y altura.

Fuente: (Certa, 2019)

4.5.2 Tipos de aparatos de riego por goteo

4.5.2.1 Aparatos goteadores

A los principios de los 30, los primeros aparatos de riego por goteo en construirse tenían una limitada complicación técnica, ya que forma gotas dejándolas caer a partir de cierta elevación. En las últimas décadas se realizaron más aparatos de riego por goteo para condiciones de laboratorio (Íbañez, 2020).

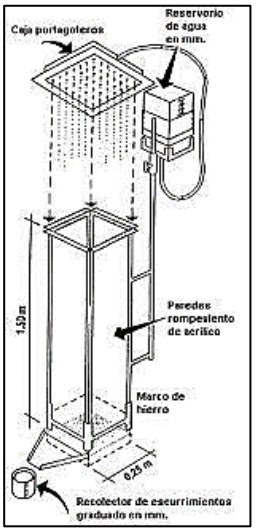


Figura 48: aparato de riego por goteo

Fuente: (Íbañez, 2020)

4.5.2.2 Aparatos pulverizadores

Desde la década de los 40 se dio a conocer los aparatos de riego por goteo tipo pulverizador, debido a que una de las propiedades más relevantes de la lluvia es su alta energía cinética. Este sistema posibilita que la salida del agua sea bajo presión por

medio de una boquilla pulverizadora, los diseños de los aspersores son para irrigación, incendios o agronomía (Martín de la Cruz, 2020).

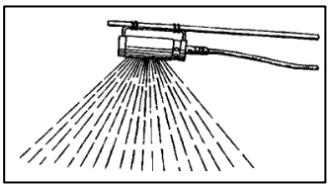


Figura 49:Aparato pulverizador de movimiento alternativo

Fuente: (Martín de la Cruz, 2020)

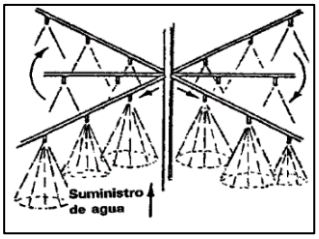


Figura 50:Brazos giratorios que transportan lanzas

Fuente: (Martín de la Cruz, 2020)

4.5.3 Ventajas y desventajas de los aparatos de riego

Tabla 17:Ventajas y desventajas del uso de aparatos

Fuente: (Martín de la Cruz, 2020)

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 aparato 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 aparato de riego por goteo llegue a tener el valor de energía cinética que tiene la lluvia natural

4.5.4 Evaluación de la erosión usando un aparato de riego por goteo

En el caso de erosión, los aparatos de riego por goteo ofrecen una opción para cuantificar el efecto de la caída de agua en el talud. Desde los años 60 se lo ha usado tratando de igualar una precipitación pluvial. Se conoce que las parcelas pequeñas son las ideales para que se realicen estudios de erosión. Se debe calibrar el aparato de riego por goteo por medio de pruebas que verifique el funcionamiento y el perfecto

ajuste del montaje de sus partes. Se establece la intensidad promedio del aparato y de la distribución de la precipitación. El aparato de riego por goteo se usa en pendientes de 0° a 60° de inclinación (Escobar D. , 2019).

Evaluar el porcentaje de proteccion contra la erosion que las plantas dan al suelo	Medir la erosion de una pendiente para diferentes tipos de suelo.
Obtener curvas de infiltracion para diferentes tipos de suelo	Permite comparar diferentes tipos de suelo en su potencial de reducir le erosion y la escorrentia

Ilustración 15: usos del aparato

Fuente: (Escobar D. , 2019)

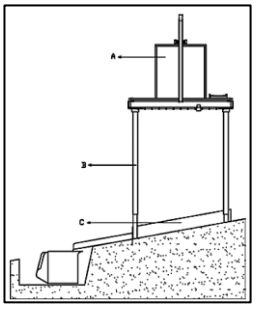


Figura 51: aparato de riego por goteo referencial

Fuente: (Monge, 2018)

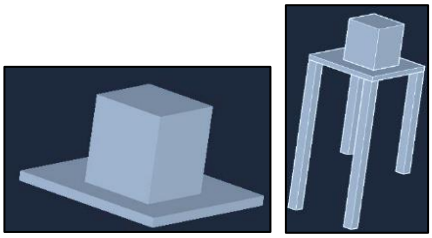


Figura 52: vista en 3D del aparato de riego por goteo que usaremos

Fuente: creación propia

4.5.5 Descripción de las partes del aparato de riego por goteo

- **Regadera:** es un reservorio cubico de agua que tiene la capacidad de 8.8 lt. El agua sale por la cabecera de la regadera por medio de 169 aperturas. La columna de presión, temperatura, largo y diámetro interno de las aperturas son las que determinan la intensidad de lluvia de nuestro aparato. Las aperturas pueden hacerse directamente en el vidrio o colocar pedazos de tubo. El diámetro de la apertura controla el tamaño y la frecuencia de la gota de agua.

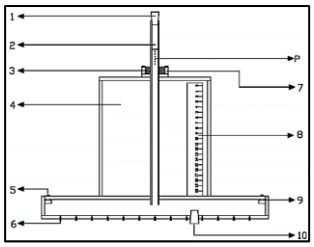


Figura 53: partes de regadera referencial

Fuente: (Monge, 2018)

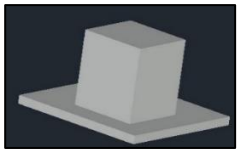


Figura 54: vista en 3D de la regadera a usarse

Fuente: creación propia

- **Soporte ajustable:** ajusta el nivel de la regadera. Será soportado por cuatro patas que nivelaran la regadera, será un perfil metálico.
- **Accesorios:** manguera, recolector de muestras y tanque de almacenamiento de agua.

4.5.6 Especificaciones técnicas del aparato de riego por goteo

- **Regadera:** forma rectangular con 0.42 m de largo x 0.42 m de ancho x 0.03 m de espesor. Tiene un volumen de 8.8 lt.

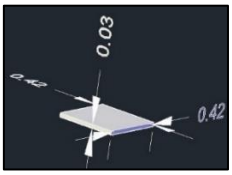


Figura 55: dimensiones de regadera (0.42 m x 0.42 m x 0.03 m)

Fuente: creación propia

- **Aperturas:** diámetro de 2.4 mm cada 3 mm de separación, 169 aperturas que producen gotas de 4.4 mm con una masa de 0.0446 gr.

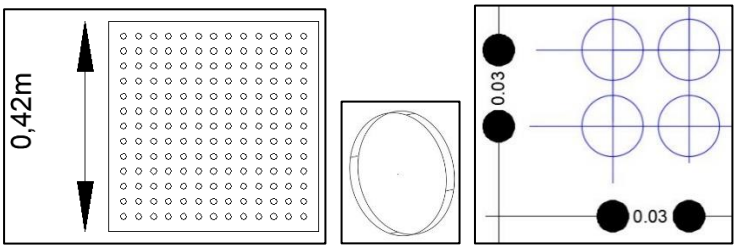


Figura 56: diámetro de aperturas (2.4 mm), 13 aperturas de 2.4mm cada 3mm de separación
Fuente: creación propia

- **Reservorio:** forma rectangular con 0.20 m de largo x 0.20 m de ancho x 0.22 m de espesor. Tiene un volumen de 4.4 lt.

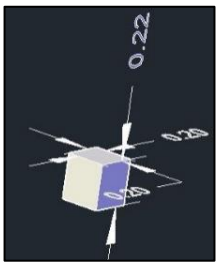


Figura 57: reservorio (0.20 m x 0.20 m x 0.22 m)

Fuente: creación propia

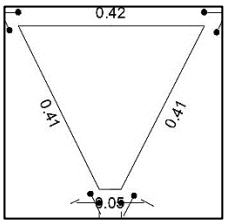
- **Perfil metálico:** se coloca un perfil metálico de 0.42 m de largo x 0.42 m de ancho x 0.05 m de espesor, apoyado a 4 patas circulares metálicas de 0.05 m de diámetro x 0.8 m de largo para apoyar la regadera y el reservorio, con el fin de que se mantengan nivelados.



Fotografía 6: perfil metálico

Fuente: creación propia

- **Recolector:** Se utiliza para la recolección y peso del suelo erosionado después del ensayo de precipitación. Se usarán contenedores plásticos de 40 cm de ancho x 20 cm de alto x 25 cm de espesor, con un volumen disponible de 20 lt para la recolección del suelo erosionado y del agua de precipitación. Se colocará un cubo recolector por cada una de las franjas de geomantos estos tienen un ancho de 40 cm.





Fotografía 7: recolector

Fuente: creación propia

- **Magnitud de lluvia:** en función de la intensidad de lluvia y la duración de la simulación. En este caso tendríamos una intensidad de 6 mm/min en un lapso de 3 min, se obtendrá 18 mm de lluvia.
- **Altura de la caída de gota:** debe tener una altura mínima de 50 cm del área de prueba, con una energía cinética de 4.9 J m^{-2} mm^{-1}. En este caso el aparato tendrá una caída de gota de lluvia de 1 m.

4.5.7 Calibración del aparato de riego por goteo

1) Instale los tubos con el perfil metálico en el suelo y encima del bloque de hormigón.
2) Instale el recolector apegado al bloque de hormigón en la parte de abajo del talud.
3) Llenar el tanque de reservorio con agua hasta un nivel de 20 cm de altura, tomar en cuenta que el reservorio este con el tapón.
4) Anote la temperatura del agua en el reservorio.
5) Ponga el cronometro en cero.
6) Quita el tapón del reservorio e inicie el cronometro.
7) Tomar el tiempo en el que toda el agua del reservorio haya caído pasando por la regadera.
8) Obtener la intensidad de la lluvia simulada.

Repetir el procedimiento al menos unas 3 veces para calibrar el aparato de riego por goteo para así obtener valores de intensidad de lluvia similares (Guerra, 2020).

4.5.8 Procedimiento del uso del aparato de riego por goteo

1) Conservar la lluvia a lo largo de mínimo 30 minutos ininterrumpidos.
2) Registrar la respuesta del suelo a la lluvia.
3) Anotar visualizaciones concretas de la simulación.
4) Fotografiar el talud previamente y luego del riego por goteo.
5) Registrar la escorrentía de manera continua a lo largo de toda la simulación.
6) Medir la proporción de suelo arrastrado por la escorrentía. Separamos los sedimentos del agua de escorrentía por medio de tamizado (Guerra, 2020).

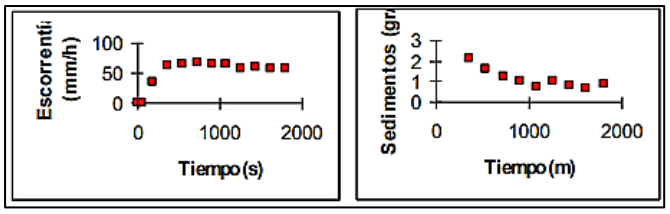


Figura 58: a) [escorrentía (mm/h) vs tiempo (s)] y b) [sedimentos (gr) vs tiempo (s)]

Fuente: (Guerra, 2020)

El valor de la tasa de infiltración es la conductividad hidráulica del suelo en condiciones de saturación. Por el aparato de riego por goteo se reproduce el comportamiento hidrológico de los suelos en condiciones similares a las naturales, obteniéndose el valor de la conductividad hidráulica y de la tasa de infiltración (Guerra, 2020).

Ecuación 31: tasa de infiltración

Fuente: (Guerra, 2020)

$$I = PP - E$$

Dónde:
PP: precipitación
E: escorrentía

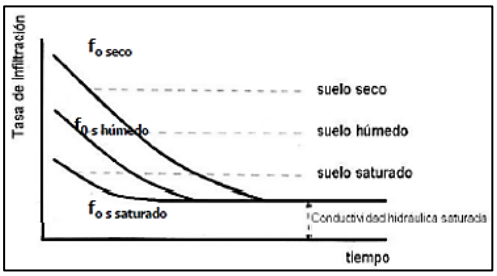


Figura 59: tasa de infiltración (mm/h) vs tiempo (s)

Fuente: (Guerra, 2020)

Ecuación 32: Velocidad inicial de la caída de la gota de agua

Fuente: (Varela, 2021)

$$Vo = \frac{Q}{S}$$

Dónde:
Q: caudal (m^3/s)
S: sección del orificio (m^2)

Ecuación 33: Energía cinética de la caída de la gota de agua

Fuente: (Varela, 2021)

$$Ec = \frac{m * v^2}{2}$$

Dónde:
m: masa de la gota de agua (gr)
v: velocidad de caída de gota (m/s)

Diámetro de gota (mm)	0.5	1.25	1.5	2	2.5	3	3.5
γ (LAWS,1941)	0.62	0.47	0.38	0.26	0.20	0.16	0.13
Velocidad de caída ($m\,s^{-1}$)	4.04	4.57	4.96	5.61	5.99	6.27	6.50

Figura 60: Valores de coeficiente de rozamiento según LAWS (1941) y velocidad de caída calculada para los diferentes tamaños de gota.

Fuente: (Varela, 2021)

4.6 Precipitación de Ecuador

La precipitación es un componente que provoca la erosión del suelo. La duración de las precipitaciones se da en intervalos largos (días, meses y años) y la cantidad de precipitación se expresa en milímetros. La magnitud es la elevación de la precipitación que cae en un corto lapso (minutos y horas), en milímetros por hora, representa el primordial mánager de erosión en el proceso de escorrentía. Existe una estrecha interacción entre la erosión del suelo y la magnitud de las lluvias, debido a que los dos incrementan en paralelo. Si la cobertura de vegetación es discontinua en superficies áridas y semiáridas con elevado contenido de arena, la erosión por escorrentía podría ser dominante (Peltre, 2016).

Tabla 18:intensidad de lluvia en regiones del Ecuador

Fuente: (Peltre, 2016)

Región	**Intensidad de lluvia mm/h**
Costa	60 a 70
Sierra (500 a 1000 msnm)	> 40
Sierra (>1000 msnm)	< 40
Oriente	> 70

Las áreas con mayor precipitación son las estribaciones de los Andes, y las áreas más secas son los valles y las zonas costeras del centro y sur de los Andes.

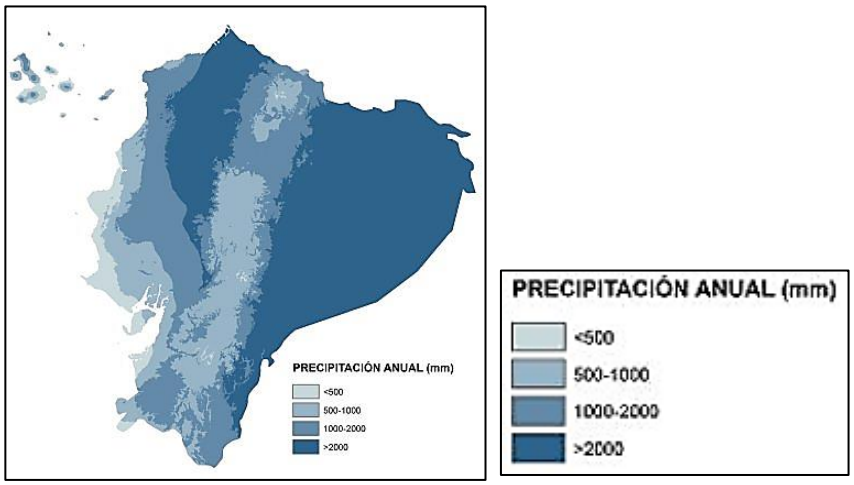


Figura 61:precipitación anual en Ecuador

Fuente: (Ron, 2020)

4.7 Precipitación total mensual de Quito

Quito posee mayor precipitación los meses de marzo a mayo y de octubre a diciembre. Los meses de menor precipitación son los meses restantes del año. Se puede ver la enorme heterogeneidad del área metropolitana de Quito referente a la distribución de la lluvia: en la parte sur de la ciudad las lluvias son abundantes (alrededor de 1400 mm por año), mientras que en el norte son pocas (cerca de 70 mm por año) (Villacis, 2017).

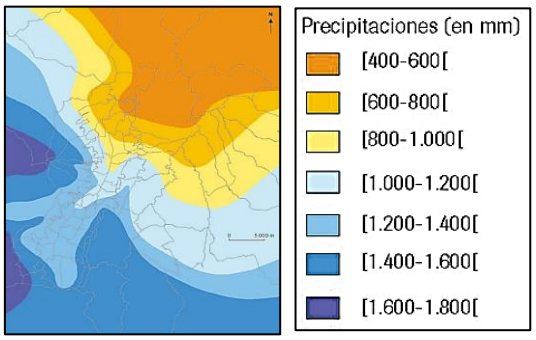


Figura 62:mapa de isoyeta de precipitación de Quito

Fuente: (Villacis, 2017)

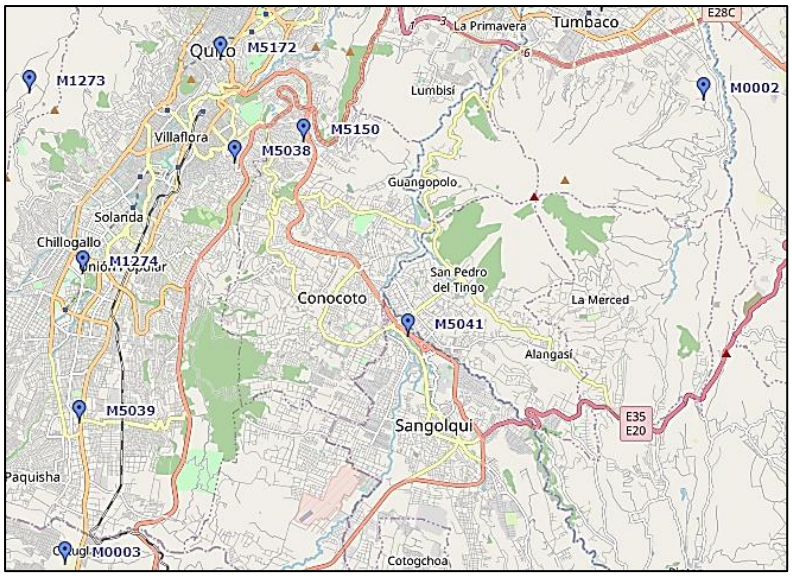


Figura 63:mapa de estaciones meteorológicas de Quito

Fuente: (Inahmi, 2021)

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Precipitación Total Mensual (mm) 11/11/2021

S E R I E S M E N S U A L E S D E D A T O S M E T E O R O L O G I C O S

NOMBRE: IZOBAMBA CODIGO: M0003

PERIODO: 2005 - 2021 LATITUD: 0G 21' 57.33" S LONGITUD: 78G 33' 18.46"W ELEVACION: 3058.00

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
2005	33.3	201.4	210.2	115.7	100.1	66.8	50.6	53.9	84.1	83.7	105.8	159.4	1265.0	105.4
2006	93.3	188.8	167.5	262.0	76.3	92.2	13.1	23.6	51.6	76.5	245.9	174.6	1465.4	122.1
2007	171.3	55.1	229.9	264.3	243.6	59.7	62.6	34.8	16.4	201.9	326.2	117.8	1783.6	148.6
2008	246.6	275.5	263.5	257.0	216.4	111.5	28.5	96.7	103.1	199.5	108.0	126.0	2032.3	169.3
2009	295.4	186.6	262.4	189.9	102.8	48.2	7.1	29.0	9.7	86.4	88.8	209.9	1516.2	126.3
2010	45.6	103.7	114.2	289.2	149.2	100.4	196.2	52.5	79.5	89.7	249.4	304.8	1774.4	147.8
2011	138.3	193.3	143.7	262.4	92.8	61.4	69.4	76.7	56.9	197.6	30.4	164.9	1487.8	123.9
2012	254.3	227.3	197.4	219.3	64.9	10.6	19.8	20.0	20.5	167.0	169.0	30.5	1400.6	116.7
2013	43.7	230.5	128.1	101.9	239.0	9.8	8.3	43.5	38.9	191.5	45.9	79.6	1160.7	96.7
2014	177.9	135.4	242.3	141.6	186.9	43.3	12.5	49.9	78.5	132.1	112.8	79.8	1393.0	116.0
2015	94.9	78.9	233.3	152.2	102.4	10.6	30.0	6.6	21.4	118.2	193.4	49.7	1091.6	90.9
2016	166.6	103.7	185.2	318.7	131.4	44.3	18.4	10.6	82.0	110.9	28.9	193.3	1394.0	116.1
2017	171.3	170.6	331.1	163.5	227.7	149.7	5.1	42.1	53.8	113.0	124.4	170.4	1722.7	143.5
2018	84.9	181.3	217.4	176.1	191.5	30.2	12.0	23.9	45.4	89.1	253.1	44.7	1349.6	112.4
2019	105.5	212.0	235.1	155.4	103.6	62.5	24.9	0.0	84.0	168.0	194.8	132.3	1478.1	123.1
suma	2122.9	2544.1	3161.3	3069.2	2228.6	901.2	558.5	563.8	825.8	2025.1	2276.8	2037.7	22315.0	1859.5
media	141.5	169.6	210.7	204.6	148.5	60.0	37.2	37.5	55.0	135.0	151.7	135.8	1487.6	123.9
minima	33.3	55.1	114.2	101.9	64.9	9.8	5.1	0.0	9.7	76.5	28.9	30.5		0.0
maxima	295.4	275.5	331.1	318.7	243.6	149.7	196.2	96.7	103.1	201.9	326.2	304.8		331.1

Figura 64: Estación meteorológica de Izo bamba (M0003)

Fuente: (Inahmi, 2021)

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Precipitación Total Mensual (mm) 11/11/2021

S E R I E S M E N S U A L E S D E D A T O S M E T E O R O L O G I C O S

NOMBRE: QUITO INAMHI-IÑAQUITO CODIGO: M0024

PERIODO: 2005 - 2021 LATITUD: 0G 10' 41.89" S LONGITUD: 78G 29' 15.83"W ELEVACION: 2789.00

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
2005	37.9	150.6	134.3	84.2	37.7	31.8	53.4	26.8	35.6	116.0	58.4	115.1	881.8	73.4
2006	52.3	105.2	202.5	209.5	113.6	50.2	3.1	3.5	35.6	109.5	182.4	183.0	1250.4	104.2
2007	66.2	67.5	177.2	188.1	101.0	22.2	12.5	33.4	3.0	160.1	194.7			
2008	156.5	218.4	188.8	203.8	171.3	56.5	12.3	37.0	58.7	235.3	72.4	121.2	1532.2	127.6
2009	165.8	141.5	173.8	161.3	62.7	35.0	2.6	1.0	7.4	69.4	71.3	120.0	1011.8	84.3
2010	4.6	46.0	26.5	220.4		34.5	93.6	59.4	87.8	51.8	167.6	181.7		
2011	82.4	182.5	145.8	372.9	55.2	28.5	117.2	48.9	73.3	54.8	65.7	107.0	1334.2	111.1
2012	158.9	125.3	143.8	203.4	40.2	21.4	1.8	2.6	12.5	133.8	177.0	60.8	1081.5	90.1
2013	43.0	196.4	83.1	111.0	115.4	0.3	0.1	18.2	31.8	141.7	48.0	46.6	835.6	69.6
2014	138.0	60.6	213.6	46.2	219.2	10.9	0.1	1.7	85.3	144.6	79.2	22.7	1022.1	85.1
2015	63.3	112.8	177.4	102.8	30.8	2.5	46.0	2.1	6.5	91.5	109.3	28.3	773.3	64.4
2016	119.8	18.6	99.5	307.2	70.6	40.3	0.9	16.2	64.0	95.5	46.8	83.8	963.2	80.2
2017	204.9	162.9	319.6	174.1	236.3	88.8	1.1	39.3	16.9	166.4	64.9	146.9	1622.1	135.1
2018	100.0	133.1	82.6	135.5	167.8	30.2	10.9	16.4	24.1	5.7	146.8	6.0	859.1	71.5
2019	79.7	190.4	189.5	168.2	35.4		15.4							
suma	1473.3	1911.8	2358.0	2688.6	1457.2	453.1	371.0	306.5	542.5	1576.1	1484.5	1223.1	15845.7	1320.4
media	98.2	127.4	157.2	179.2	104.0	32.3	24.7	21.8	38.7	112.5	106.0	94.0	1096.6	91.3
minima	4.6	18.6	26.5	46.2	30.8	0.3	0.1	1.0	3.0	5.7	46.8	6.0		0.1
maxima	204.9	218.4	319.6	372.9	236.3	88.8	117.2	59.4	87.8	235.3	194.7	183.0		372.9

Figura 65:Estación meteorológica de Iñaquito (M0024)

Fuente: (Inahmi, 2021)

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Precipitación Total Mensual (mm) 09/01/2019

S E R I E S M E N S U A L E S D E D A T O S M E T E O R O L O G I C O S

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 66:Estación meteorológica La Tola (M0002)

Fuente: (Inahmi, 2021)

Los datos de precipitación total mensual fueron obtenidos de la base de datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Inahmi). Para esta investigación usare los datos de las precipitaciones desde el año 2005 al 2018 (13 años) de la estación meteorológica M0024 en Quito -Inahmi – Iñaquito ya que es la estación que tiene la precipitación máxima y posee la mayor cantidad de datos de las 4 estaciones meteorológicas de Quito (Inahmi, 2021).



Figura 67:Ubicación de la estación meteorológica de Iñaquito (M0024)

Fuente: (Inahmi, 2021)

Tabla 19: Precipitación total mensual (mm) de la estación M0024

Fuente: (Inahmi, 2021)

Precipitación total mensual (mm)													
Estación M0024: Quito-Inahmi-Iñaquito													
Elevación: 2789 msnm													
Años	**Enero**	**Febrero**	**Marzo**	**Abril**	**Mayo**	**Junio**	**Julio**	**Agosto**	**Septiembre**	**Octubre**	**Noviembre**	**Diciembre**	**Precipitación media anual**
2005	37.9	150.6	134.3	84.2	37.7	31.8	53.4	26.8	35.6	116	58.4	115.1	73.5
2006	52.3	105.2	202.5	209.5	113.6	50.2	3.1	3.5	35.6	109.5	182.4	183	104.2
2007	66.2	67.5	177.2	188.1	101	22.2	12.5	33.4	3	160.1	194.7	195.3	101.8
2008	156.5	218.4	188.8	203.8	171.3	56.5	12.3	37	58.7	235.3	72.4	121.2	127.7
2009	165.8	141.5	173.8	161.3	62.7	35	2.6	1	7.4	69.4	71.3	120	84.3
2010	4.6	46	26.5	220.4	34.5	93.6	59.4	87.8	51.8	51.8	167.6	181.7	85.5
2011	82.4	182.5	145.8	372.9	55.2	28.5	117	48.9	73.3	54.8	65.7	107	111.2
2012	158.9	125.3	143.8	203.4	40.2	21.4	1.8	2.6	12.5	133.8	177	60.8	90.1
2013	43	196.4	83.1	111	115.4	0.3	0.1	18.2	31.8	141.7	48	46.6	69.6
2014	138	60.6	213.6	46.2	219.2	10.9	0.1	1.7	85.3	144.6	79.2	22.7	85.2
2015	63.3	112.8	177.4	102.8	30.8	2.5	46	2.1	6.5	91.5	109.3	28.3	64.4
2016	119.8	18.6	99.5	307.2	70.6	40.3	0.9	16.2	64	95.5	46.8	83.8	80.3
2017	204.9	162.9	319.6	174.1	236.3	88.8	1.1	39.3	16.9	166.4	64.9	146.9	135.2
2018	100	133.1	82.6	135.5	167.8	30.2	10.9	16.4	24.1	5.7	146.8	6	71.6
Precipitación media mensual	99.5	123.0	154.9	180.0	104.0	36.6	23.0	23.9	36.2	112.6	106.0	101.3	
Precipitación mínima mensual	4.6	18.6	26.5	46.2	30.8	0.3	0.1	1.0	3.0	5.7	46.8	6.0	
Precipitación máxima mensual	204.9	218.4	319.6	372.9	236.3	93.6	117.2	87.8	85.3	235.3	194.7	195.3	

Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2011	82,4	182,5	145,8	372,9	55,2	28,5	117	48,9	73,3	54,8	65,7	107

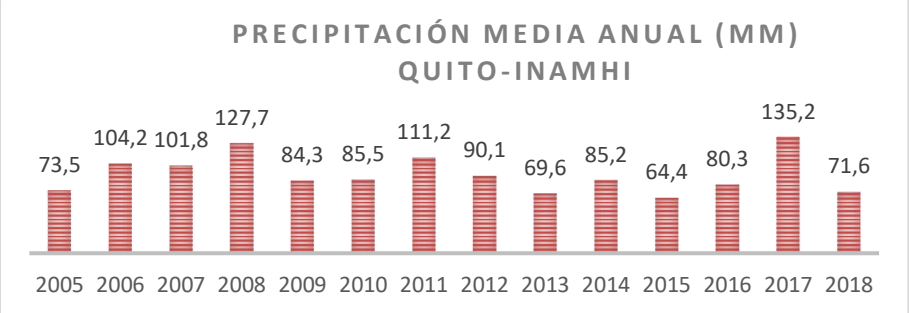


Ilustración 16:precipitación media anual (mm) de la estación M0024

Fuente: creación propia

En la gráfica de precipitación media anual podemos ver que el valor máximo de precipitación se dio en el año del 2017 con un valor de 135.2 mm y el valor mínimo de precipitación se dio en el año del 2015 con un valor de 64.4 mm. En dos años hubo un incremento de precipitación de 70.8 mm.

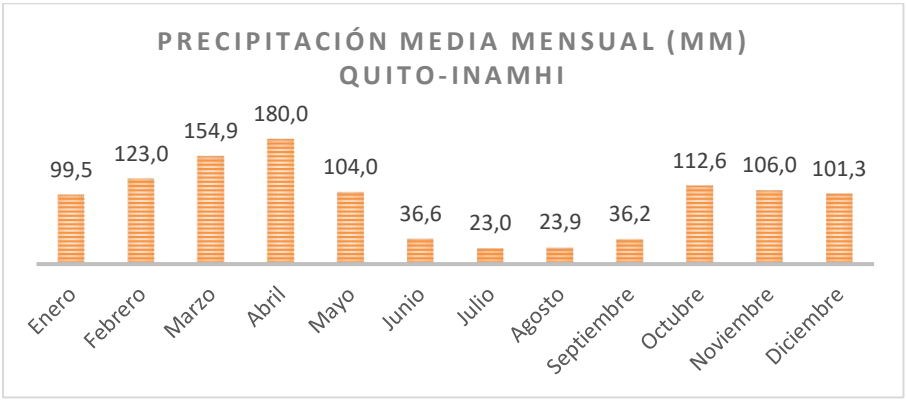


Ilustración 17:precipitación media mensual (mm) de la estación M0024

Fuente: creación propia

En la gráfica de precipitación media mensual desde el 2005 al 2018, podemos ver que el valor máximo de precipitación se dio en el mes de abril con un valor de 180 mm y el valor mínimo de precipitación se dio en el mes de julio con un valor de 23 mm. En 3 meses hubo una reducción de precipitación de 157 mm.

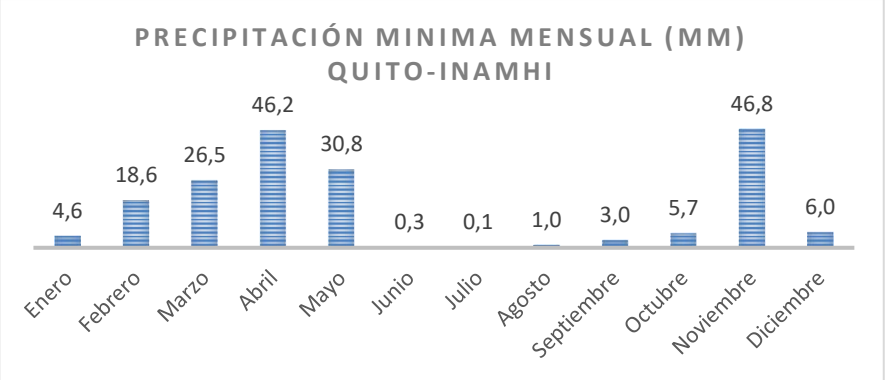


Ilustración 18:precipitación mínima mensual (mm) de la estación M0024

Fuente: creación propia

En la gráfica de precipitación mínima mensual desde el 2005 al 2018, podemos ver que el valor máximo de precipitación se dio en el mes de noviembre con un valor de 46.8 mm y el valor mínimo de precipitación se dio en el mes de julio con un valor de 0.1 mm. En 4 meses hubo un aumento de precipitación de 46.7 mm.

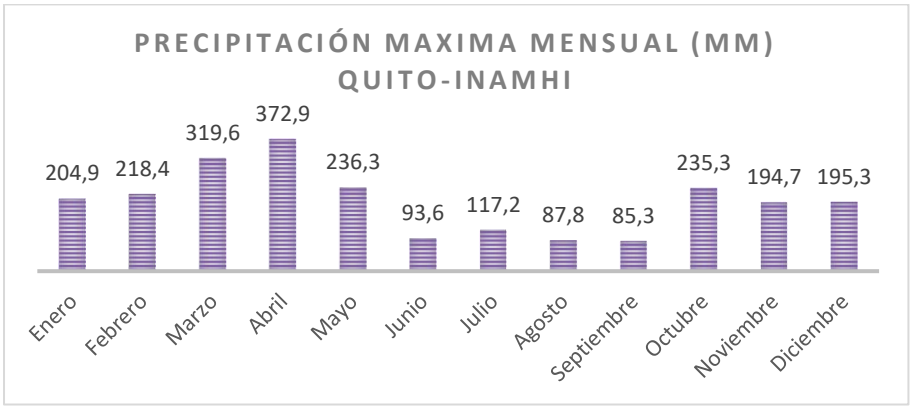


Ilustración 19:precipitación máxima mensual (mm) de la estación M0024

Fuente: creación propia

En la gráfica de precipitación máxima mensual desde el 2005 al 2018, podemos ver que el valor máximo de precipitación se dio en el mes de abril con un valor de 372.9 mm y el valor mínimo de precipitación se dio en el mes de septiembre con un valor de 85.3 mm. En 5 meses hubo una reducción de precipitación de 287.6 mm.

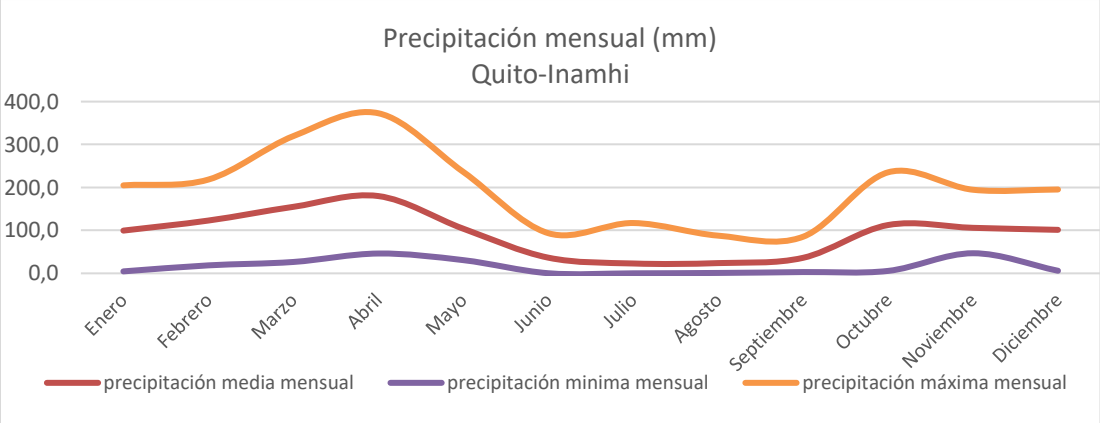


Ilustración 20:precipitación mensual media, mínima y máxima (mm) de la estación M0024

Fuente: creación propia

La precipitación máxima es de 372.9 mm del mes de abril del 2011.

Los datos de precipitación total diaria fueron obtenidos de la base de datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Inahmi). De la estación meteorológica M0024 en Quito -Inahmi – Iñaquito obtuvimos que en el mes de abril del 2011 se tuvo 12 días de precipitación (Inahmi, 2021).

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Precipitación Total Diaria (mm) 13/12/2021

S E R I E S D E D A T O S M E T E O R O L O G I C O S

NOMBRE: QUITO INAMHI-IÑAQUITO CODIGO: M0024
PERIODO: 2011 - 2011 LATITUD: 0G 10' 41.89" S LONGITUD: 78G 29' 15.83"W ELEVACION: 2789.00

Prueba-EN DIAS DATOS, NO ESTAN EXCLUIDOS POSIBLES DATOS ERRONEOS, ES NECESARIO DEPURAR LA BASE DE DATOS

VALORES DIARIOS

ANIO	DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2011	1	1.8	30.0	2.2	11.5	6.7	8.6	2.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
2011	2	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	21.2	11.3	9.1	0.1	4.8	1.5	4.7
2011	3	5.6	1.2	0.0	18.2	25.7	4.9	1.0	3.7	4.3	0.2	5.3	5.0
2011	4	2.5	4.3	8.9	12.1	16.4	2.6	14.2	24.5	29.5	11.6	1.9	39.9
2011	5	16.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0
2011	6	0.1	0.3	0.4	1.6	10.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011	7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.3
2011	8	7.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011	9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	8.9	0.0	0.0	0.0
2011	10	0.0	5.8	5.9	4.2	11.9	3.0	0.0	0.0	0.0	8.7	10.3	0.0
2011	11	0.0	5.6	0.5	0.0	0.0	2.4	12.6	0.2	0.0	1.7	3.5	1.2
2011	12	17.5	8.5	0.2	4.3	0.0	3.2	2.1	0.0	0.7	0.0	0.7	1.0
T O T A L :			365										

Figura 68:Precipitación total diaria de la estación meteorológica de Iñaquito (M0024)

Fuente: (Inahmi, 2021)

4.7.1 Precipitación total mensual de Quito en el 2021

Los datos de precipitación total mensual en el 2021 fueron obtenidos de la base de datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Inahmi). Se obtuvo de la estación meteorológica M0024 en Quito - Inahmi – Iñaquito (Inahmi, 2021).

Tabla 20:Precipitación total mensual (mm) de la estación M0024 en el 2021

Fuente: (Inahmi, 2021)

Precipitación total mensual (mm)											
Estación M0024: Quito-Inahmi-Iñaquito											
Elevación: 2789 msnm											
Enero	**Febrero**	**Marzo**	**Abril**	**Mayo**	**Junio**	**Julio**	**Agosto**	**Septiembre**	**Octubre**	**Noviembre**	**Diciembre**
90.7	84.6	75.2	81.7	96.8	92.3	93.2	87.7	101.1	112.1	100.0	87.9

Precipitación media anual	**Precipitación mínima anual**	**Precipitación máxima anual**
91.9	75.2	112.1

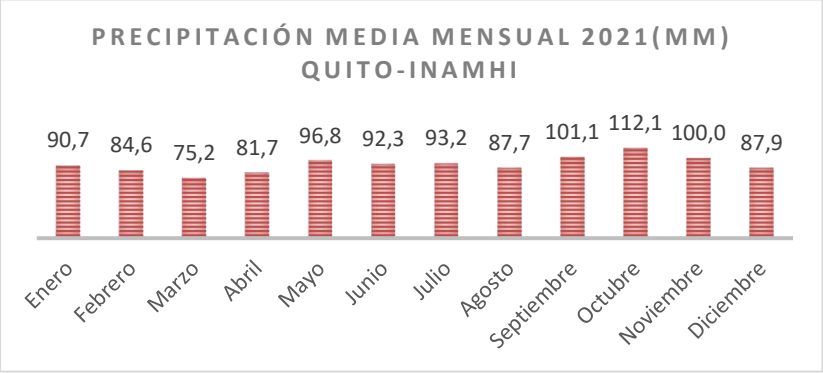


Ilustración 21:precipitación media mensual de la estación M0024 en el 2021

Fuente: creación propia

Los datos de precipitación media anual en el 2021 son de 91.9 mm, el valor de precipitación mínima anual es de 75.2 mm correspondiente al mes de marzo y el valor de precipitación máxima anual es de 112.1 mm correspondiente al mes de octubre. En 7 meses hubo un aumento de precipitación de 36.9 mm.

4.7.2 Tipos de escurrimiento en Quito

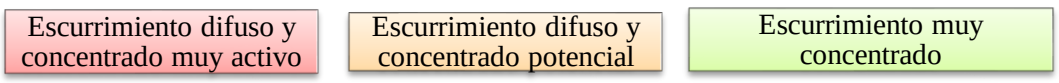


Ilustración 22: tipos de escurrimiento en Quito

Fuente: (Peltre, 2016)

4.8 Temperatura de Ecuador

La temperatura de Ecuador es distinta dependiendo de las diversas zonas del territorio. Esto se debería a la diferencia de altitud entre las múltiples regiones climáticas del territorio (Villacis, 2017).

Hay 2 estaciones:

- En invierno, de diciembre a mayo, una vez que el clima es cálido y lluvioso.
- En verano, de junio a noviembre es la temporada seca, con temperaturas más frescas.

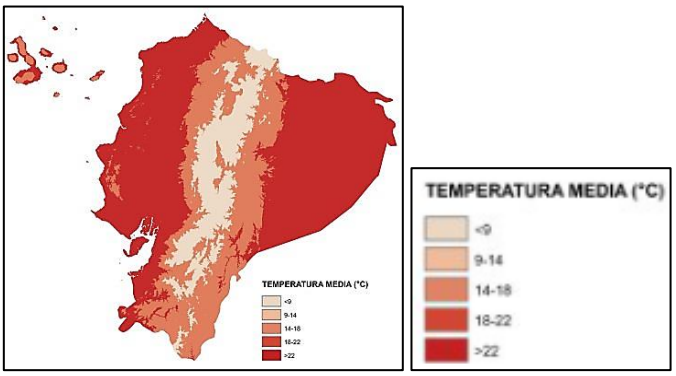


Figura 69: temperatura en Ecuador

Fuente: (Ron, 2020)

4.9 Temperatura media mensual de Quito

Quito posee mayor temperatura los meses de julio a septiembre. Los meses de menor temperatura son los meses restantes del año.

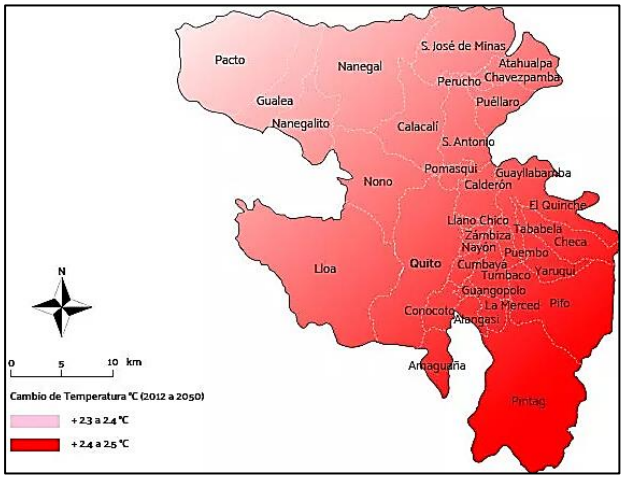


Figura 70:temperatura promedio de las parroquias de Quito

Fuente: (Foros Ecuador, 2018)

Los datos de temperatura media mensual fueron obtenidos de la base de datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Inahmi). Se tomo en cuenta las temperaturas desde el año 2005 al 2018 (13 años) de la estación meteorológica M0024 en Quito -Inahmi – Iñaquito (Inahmi, 2021).

Tabla 21: Temperatura media mensual (°C) de la estación M0024

Fuente: (Inahmi, 2021)

Temperatura media mensual (°C)													
Estación M0024: Quito-Inahmi-Iñaquito													
Elevación: 2789 msnm													
Años	**Enero**	**Febrero**	**Marzo**	**Abril**	**Mayo**	**Junio**	**Julio**	**Agosto**	**Septiembre**	**Octubre**	**Noviembre**	**Diciembre**	**Temperatura media**
2005	15.2	15.5	15	15.8	15.7	16	16.2	16.1	16.4	14.6	14.7	13.9	15.4
2006	14.6	15.1	14.5	14.7	15.5	15.1	16.1	16.2	16	15.3	14.5	14.9	15.2
2007	16	15.4	15	14.8	15.3	15.3	15.6	15.2	16.1	14.5	14.9	14	15.2
2008	14.6	13.6	13.7	14.3	14.2	14.9	14.8	14.6	15.5	14.5	14.3	14.4	14.5
2009	14.5	14.5	14.9	15.2	15.3	15.5	16	16.3	17	16	15.9	15.9	15.6
2010	16.5	17	16.8	15.7	15	15	14.6	15	15.1	15.2	13.6	14	15.3
2011	14.6	14.3	13.9	13.9	15.5	15.3	14.9	15.4	15.5	14.4	14.6	14.6	14.7
2012	14.1	14.1	15.5	14.2	15.3	15.9	16.6	16.2	16.6	15.2	14.8	15.1	15.3
2013	16.4	14.8	15.8	15.7	14.9	16.1	15.8	15.8	16.3	15.2	14.8	15.3	15.6
2014	15.3	15.4	14.8	16	15.1	15.8	16.6	15.9	15.6	15.3	15.2	15.3	15.5
2015	15.7	15.6	15.4	16	16.1	16.8	16.2	17.1	17.5	16.4	15.6	17.3	16.3
2016	16.3	17	16.5	16.2	16.6	15.6	15.8	16.8	16	15.6	15.7	15.3	16.1
2017	14.6	14.6	14.4	15.5	15.1	15.7	16.2	15.9	16.5	15.7	15.1	15.5	15.4
2018	14.6	14.9	15.7	14.8	15	15.6	15.8	16.5	16.6	15.7	15.1	15.6	15.5
Temperatura media mensual	15.2	15.1	15.1	15.2	15.4	15.6	15.8	15.9	16.2	15.3	14.9	15.1	
Temperatura mínima mensual	14.1	13.6	13.7	13.9	14.2	14.9	14.6	14.6	15.1	14.4	13.6	13.9	
Temperatura máxima mensual	16.5	17.0	16.8	16.2	16.6	16.8	16.6	17.1	17.5	16.4	15.9	17.3	

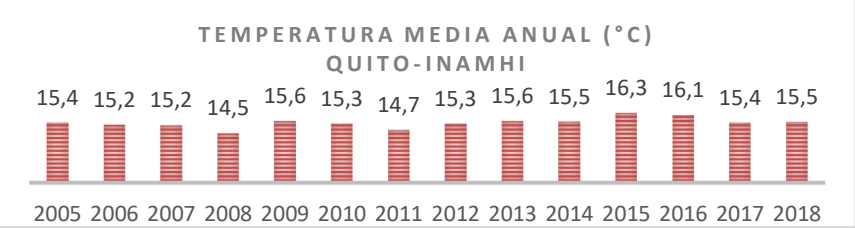


Ilustración 23:Temperatura media anual (°C) de la estación M0024

Fuente: creación propia

En la gráfica de temperatura media anual podemos ver que el valor máximo de temperatura se dio en el año del 2015 con un valor de 16.3 °C y el valor mínimo de temperatura se dio en el año del 2008 con un valor de 14.5 °C. En 7 años hubo una reducción de 1.8°C.

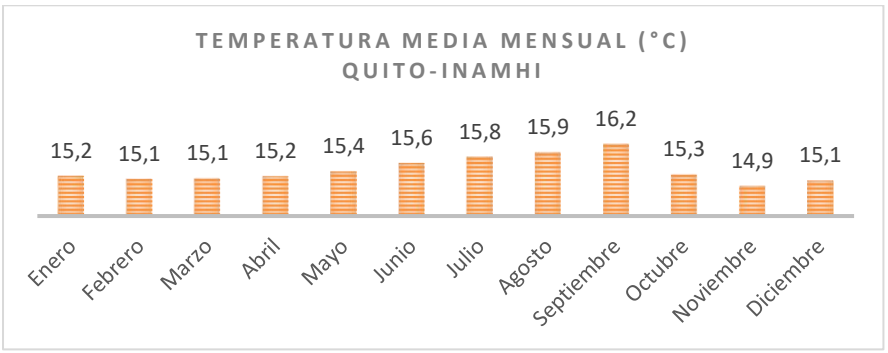


Ilustración 24:Temperatura media mensual (°C) de la estación M0024

Fuente: creación propia

En la gráfica de temperatura media mensual podemos ver que el valor máximo de temperatura se dio en el mes de septiembre con un valor de 16.2 °C y el valor mínimo de temperatura se dio en el mes de noviembre con un valor de 14.9 °C. En 2 meses hubo una reducción de 1.3°C.

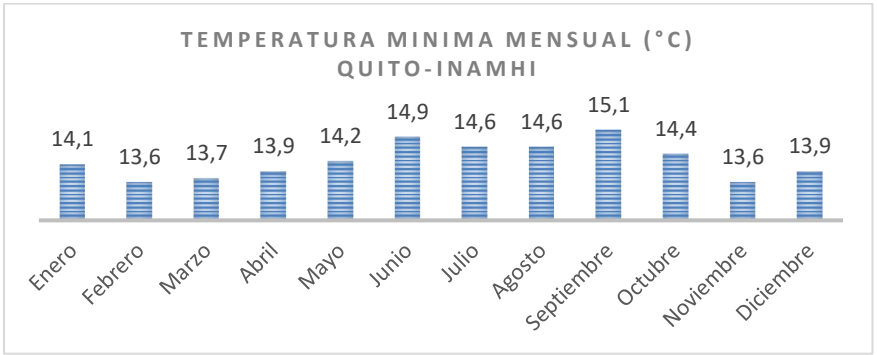


Ilustración 25:temperatura mínima mensual (°C) de la estación M0024

Fuente: creación propia

En la gráfica de temperatura mínima mensual podemos ver que el valor máximo de temperatura se dio en el mes de septiembre con un valor de 15.1 °C y el valor mínimo de temperatura se dio en el mes de noviembre con un valor de 13.6 °C. En 2 meses hubo una reducción de 1.5°C.

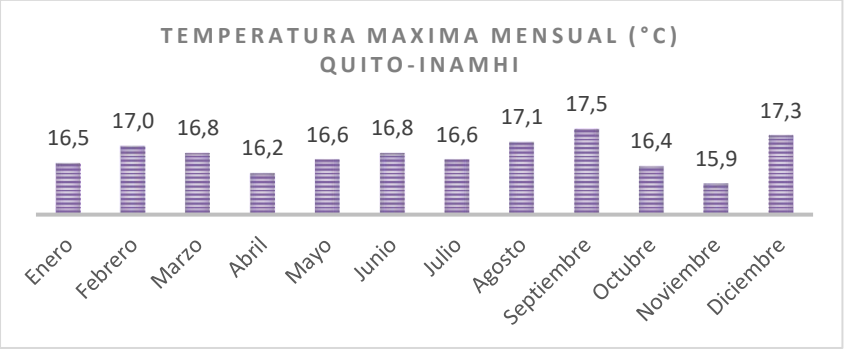


Ilustración 26:temperatura máxima mensual (°C) de la estación M0024

Fuente: creación propia

En la gráfica de temperatura máxima mensual podemos ver que el valor máximo de temperatura se dio en el mes de septiembre con un valor de 17.5 °C y el valor mínimo de temperatura se dio en el mes de noviembre con un valor de 15.9 °C. En 2 meses hubo una reducción de 1.6°C.

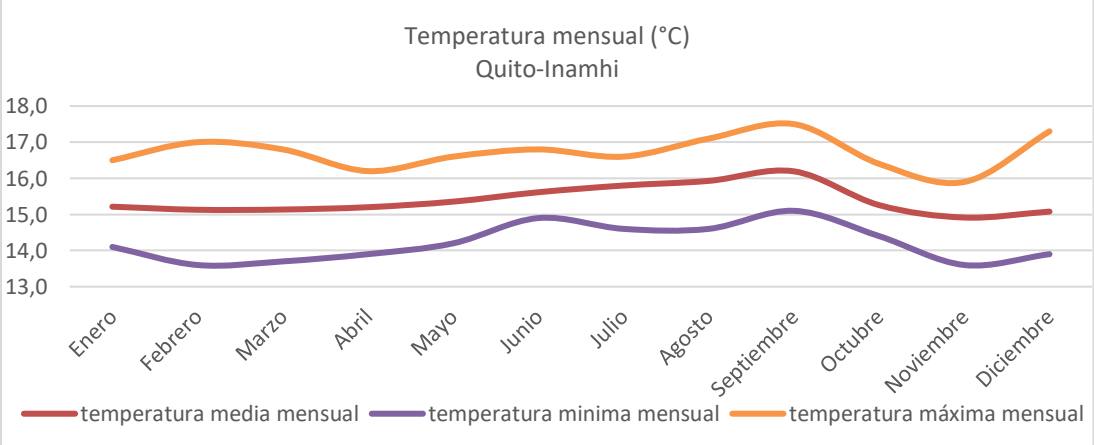


Ilustración 27:temperatura mensual media, mínima y máxima (°C) de la estación M0024

Fuente: creación propia

La temperatura máxima es de 17.5 °C del mes de septiembre del 2015.

4.9.1 Temperatura media mensual de Quito en el 2021

Los datos de temperatura media mensual en el 2021 fueron obtenidos de la base de datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Inahmi). Se obtuvo de la estación meteorológica M0024 en Quito -Inahmi – Iñaquito (Inahmi, 2021).

Tabla 22:Temperatura media mensual (mm) de la estación M0024 en el 2021

Fuente: (Inahmi, 2021)

Temperatura media mensual (°C)											
Estación M0024: Quito-Inahmi-Iñaquito											
Elevación: 2789 msnm											
Enero	**Febrero**	**Marzo**	**Abril**	**Mayo**	**Junio**	**Julio**	**Agosto**	**Septiembre**	**Octubre**	**Noviembre**	**Diciembre**
15	14	14	14	14	15	15	15	16	15	14	14

Temperatura media anual	Temperatura mínima anual	Temperatura máxima anual
14	14	16

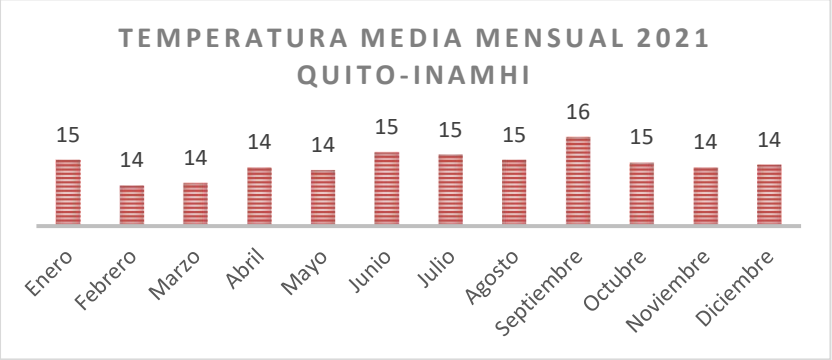


Ilustración 28:temperatura media mensual (°C) de la estación M0024 del 2021

Fuente: creación propia

Los datos de temperatura media mensual del 2021 son de 14 °C, el valor de temperatura mínima anual es de 14 °C correspondiente al mes de febrero y el valor de temperatura máxima anual es de 16 °C correspondiente al mes de septiembre. En 6 meses hubo un aumento de temperatura de 2 °C.

5. CAPÍTULO V: EROSIÓN

5.1 Erosión

Es un tipo de falla del suelo en el que existe desprendimiento y arrastre de sedimentos causado por la caída de gotas de agua, la fuerza del viento o la fuerza de la gravedad. La erosión produce un desgaste de la superficie del suelo creando fisuras y cárcavas en el talud (Peralta, 2015).



Fotografía 8: erosión

Fuente: (Peralta, 2015)

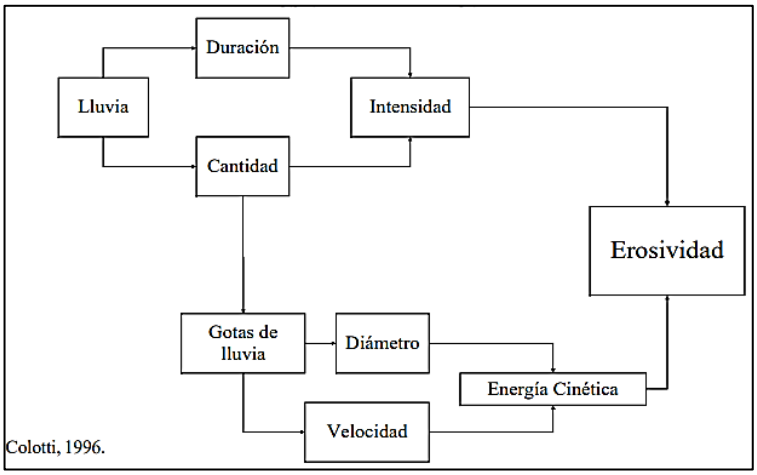


Ilustración 29:erosividad de la lluvia

Fuente: (Colotti, 2015)

5.1.1 Proceso hidro geoquímico de erosión

Las partículas de suelo son separadas entre sí por fuerzas electroquímicas por las características químicas del agua y suelo. La formación de conjuntos de partículas que se desprenden independientemente se conoce como seudo granos, estos ocasionan un comportamiento erosivo semi granular en ciertos suelos cohesivos, para luego desmoronarse en la corriente de agua. Las partículas de arena y grava permanecen cubiertas por una micro capa de arcilla se hidrata en los procesos de humedecimiento y las partículas granulares quedan sueltas, pese a que se conserva una cementación

interna en la matriz. Los cementantes en medio de las partículas son la Illita y Montmorillonita (Escobar D. , 2019).

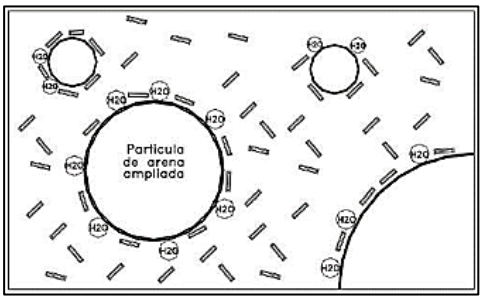


Figura 71:Proceso hidro geoquímico de erosión

Fuente: (Escobar D. , 2019)

5.1.2 Tipos de erosión

Tabla 23: tipos de erosión

Fuente: (Cartonalli, 2020)

Agente	Tipo de erosión	Tipo de proceso erosivo
agua	erosión hídrica	cursos de agua
		impacto
		laminar
		riles
		cárcavas
		costera
viento	erosión eólica	abrasión
		deflación
hielo	erosión glaciar	movimiento de glaciares
gravedad	erosión por gravedad	derrumbes
		movimiento en masas
		suelos reptantes

5.1.2.1 Erosión eólica

La erosión eólica es provocada por el viento y tiene gran trascendencia en regiones en las que hay fuertes vientos y suelos de textura fina (como suelos arenosos), dañados por pastoreo exhaustivo a lo largo de épocas de sequía. La erosión eólica, incrementa la exposición del área del suelo, generando superficies expuestas y lisas sobre suelos impermeables, las cuales, gracias a la falta de un área de suelo, a su baja permeabilidad y a su concentración de sales principalmente alta, es complicado realizar una revegetación del área (Colotti, 2015).

5.1.2.2 Erosión hídrica

Se da cuando las gotas de lluvia caen sobre el suelo desnudo generando perdida de suelo por el movimiento de masas de suelo cuesta debajo de la pendiente. En este tipo de erosión se necesita conocer la velocidad del flujo y el tamaño de las partículas sólidas del suelo. Es un proceso que implica la pérdida de la capacidad del suelo por acción del agua que cae sobre un suelo con escasa cubierta vegetal y poco resistente (Tayupanta, 2013).

5.1.3 Factores que intervienen en la erosión



Precipitación: El volumen depende de la intensidad y cantidad de lluvia. Las partículas sólidas del suelo se deslizan en varias capas uniformes sobre la tierra.



Pendiente: El ángulo de la pendiente determina el nivel de erosión en el talud, entre más ángulo de inclinación tenga el talud mayor es el nivel de severidad de la erosión.



Suelo: Las propiedades del suelo como el tamaño de las partículas, la estabilidad de los agregados y el material afectan a la estabilidad del talud y su vulnerabilidad a ser erosiónado.



Vegetación: La vegetación puede controlar la erosión debido a las precipitaciones. La vegetación que cubre la superficie del suelo le presta protección al talud a que detiene y controla la energía cinética de las gotas de lluvia, disminuyendo la velocidad del escurrimiento superficial

Ilustración 30: factores que intervienen en la erosión

Fuente: (Peralta, 2015)

Tabla 24:factores que intervienen en la erosión

Fuente: (Ramajo, 2014)

Principales factores que influyen en la erosión	**Características del suelo**	distribución de tamaño de partículas (textura)
		contenido de materia orgánica
		estructura
		permeabilidad
	Cubierta vegetal	protección de la superficie del suelo de impacto de gotas de agua
		incremento de resistencia del suelo al esfuerzo de corte de la escorrentía gracias a las raíces
		mejora la capacidad de infiltración del suelo
		aumento de la rugosidad hidráulica que disminuye la velocidad de escorrentía

	menor humedad del suelo por la transpiración de las plantas
Topografía	pendiente
	forma
	longitud
Clima	frecuencia de chubascos
	intensidad de lluvia
	duración de chubascos

5.1.4 Tipos de erosión hídrica

Erosión laminar: Es el movimiento uniforme de una capa fina de suelo de 2 a 3 mm de espesor sobre el talud a menos de 30 cm/s de velocidad. Este tipo de erosión produce una mayor pérdida de suelo que por salpicadura, se dan en suelos residuales y zonas deforestadas.

Erosión en surcos: En las irregularidades del talud, la escorrentía se concentra adquiriendo volumen provocando cortes en el suelo. En los surcos la fuerza del agua es capaz de desprender partículas del suelo. La erosión se aumenta cuando el espesor del flujo es muy cercano al diámetro de las gotas de lluvia 0.5 a 5 mm. Los canales de erosión son menos profundos que 30 cm.

Erosión en cárcavas: Se dan en profundos surcos en dónde se concentra el agua. El agua profundiza el surco hasta que produce socavamiento se una gran masa de suelo. Los canales de erosión son más profundos que 30 cm.

Ilustración 31: tipos de erosión hídrica.

Fuente: (Escobar D. , 2019)

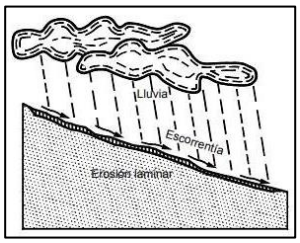


Figura 72:erosión laminar

Fuente: (Escobar D. , 2019)



Fotografía 9:erosión en surcos

Fuente: (Escobar D. , 2019)

5.1.5 Mecanismos de erosión

- **Impacto de la gota de lluvia o salpicadura:** Las gotas de lluvia al caer sobre el suelo desnudo destrozan a los componentes del suelo en la superficie del talud. Debemos tomar en cuenta la fuerza de la caída de lluvia, si esta es violenta el proceso erosivo será de gran magnitud mientras que si la caída de lluvia es lenta será poco erosivo (Falconí, 2013). Al caer la gota de lluvia levanta partículas de suelo y las reparte en un área de alrededor de $1m^2$. La erosión causada por la lluvia está definida por la intensidad, cantidad y duración, una vez que la magnitud y proporción de lluvias es alta la erosión va a ser inmediata. Si el talud tiene una pendiente mayor al 2% se forman pequeños surcos y en pendientes menores la erosión es laminar por la acción de la escorrentía que traslada el suelo desprendido por la lluvia. Para la reducción de la erosión por gotas de lluvia se emplea la cobertura vegetal en especial los pastos (Peralta, 2015).

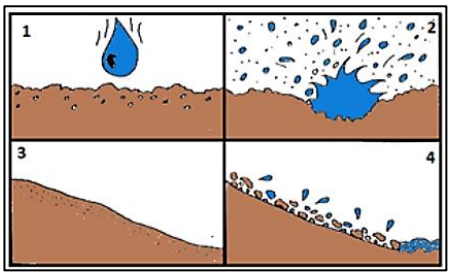


Figura 73: impacto de la gota de lluvia en el suelo

Fuente: (Falconí, 2013)

1. *La gota de lluvia impacta en el suelo*
2. *Los agregados del suelo son desintegrados*
3. *Se tapan los poros del suelo con agua*
4. *Se origina el escurrimiento superficial*

- **Escorrentía:** Cuando la intensidad de la precipitación es alta, el suelo no puede absorber toda el agua que recibe en la precipitación. Se forma una capa de agua, que fluye hacia abajo, llevando partículas sólidas de suelo llamadas masas de suelo. La escorrentía superficial depende de la intensidad de la lluvia y de las características del suelo del talud. El agua empapa el suelo a varios metros de profundidad y produce fluidos viscosos que superan la fuerza cohesiva de los sedimentos, por lo que fluyen por la pendiente bajo la acción de la gravedad, arrastrando una gran cantidad de suelo (Peralta, 2015).

El agua de escorrentía se mueve sobre la superficie del suelo de dos maneras:

- Hay una fina capa de agua en toda la superficie del suelo.
- Concentrado en un solo lugar (canal de escorrentía).

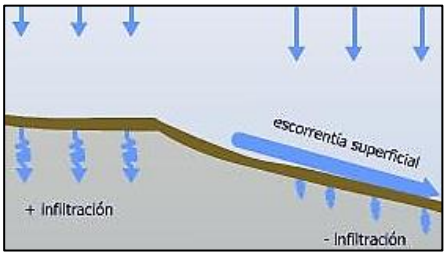


Figura 74: escorrentía.

Fuente: (Melgarejo, 2016)

5.1.5.1 Tipos de escurrimiento

- **Escurrimiento superficial difuso:** genera una erosión laminar ocasionando el escurrimiento de limos y arenas (Escobar D. , 2019).
- **Escurrimiento superficial concentrado:** genera surcos de erosión y cárcavas ocasionando la destrucción de taludes (Escobar D. , 2019).
- **Escurrimiento subsuperficial:** genera tubificación, cavernas, socavación de fondo y socavación lateral ocasionando la desestabilización y hundimientos de taludes (Escobar D. , 2019).

5.1.6 Procesos de la erosión hídrica

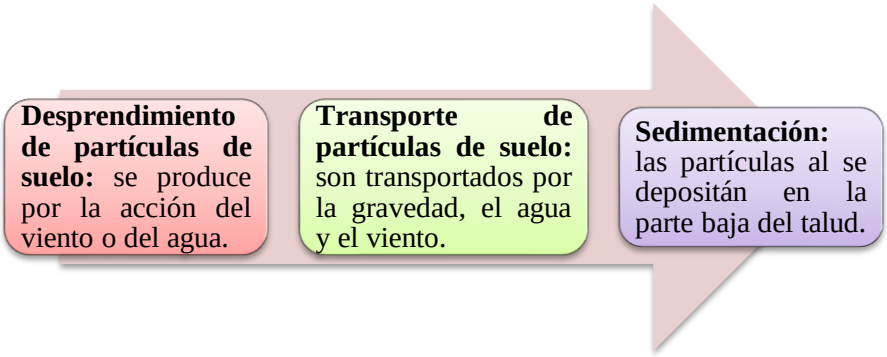


Ilustración 32: procesos erosivos del suelo.

Fuente: (Larranaga, 2015)

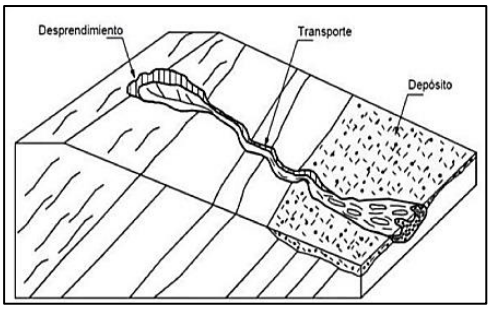


Figura 75:procesos erosivos del suelo

Fuente: (Larranaga, 2015)

5.1.7 Medición de la erosión

Agujas de erosión: El uso de varillas, permite conocer la pérdida de suelo en un punto, a través de la variación en la altura de suelo respecto a un nivel de referencia fijado. No es muy preciso y sirve para casos de erosión intensa.

Parcelas de erosión: Estiman la producción de sedimentos en superficies pequeñas hasta llegar a escalas naturales de taludes.

Trazadores y evaluación de huellas: Estas medidas determinan el origen del sedimento a lo largo del talud usando óxido de hierro magnético con partículas esféricas de 2µm con densidad de 4.6 mg/m^3.

Ilustración 33: medidas de la erosión

Fuente: (Ramajo, 2014)

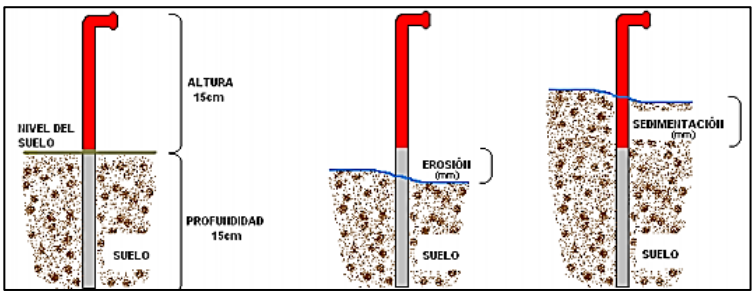


Figura 76: agujas de erosión

Fuente: (Ramajo, 2014)



Fotografía 10: parcelas de erosión

Fuente: (Ramajo, 2014)



Fotografía 11:Óxido de hierro magnético de trazadores y evaluación de huellas

Fuente: (Ramajo, 2014)

5.1.8 Modelos de estimación de erosión

Son herramientas que permiten evaluar mediante un valor cuantitativo el grado de erosión de un suelo. Existen dos modelos de evaluación empíricos:

- **Modelo de evaluación directa:** se da en campo a través de pendientes modelados en las que por medio del uso de aparatos de riego por goteo se obtienen valores de la erosión midiendo la cantidad de suelo caído (Larranaga, 2015).
- **Modelo de evaluación indirecta:** se usa modelos estadísticos, paramétricos y físicos. Se evalúa la erosión laminar por medio de la ecuación universal de perdida de suelo (RUSLE) apoyándose en los sistemas de información geográfica (GIS) (Larranaga, 2015).

5.1.8.1 Ecuación universal de perdida de suelo (RUSLE)

Este modelo se dio a partir de relaciones estadísticas de datos experimentales desarrollados en suelos de Estados Unidos en el año de 1997. Esta ecuación nos ayuda a estimar la erosión media anual de una pendiente por medio de la perdida de suelo por erosión laminar y de surcos (Rosales O. , 2020).

Ecuación 34: perdida de suelo

Fuente: (Rosales O. , 2020)

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Dónde:
*R: factor de erosión por la lluvia (mm/ha*año)*
*K: factor de erosión del suelo [(ton/ha) / (mm/ha*hora)]*
L: factor de longitud del terreno
S: factor de pendiente del terreno
C: factor de cobertura y manejo de vegetación
P: factor de prácticas de conservación

Ecuación 35: erosión por la lluvia

Fuente: (Rosales O. , 2020)

$$R = K * E^{\propto}$$

Dónde:
K = Coeficiente de proporcionalidad
E = Energía cinética de la lluvia
α = Constante que depende del tipo de suelo (baja en arcillas y alta en arenas)

Calificación de erosión	Nivel de erosión	Erosión
Nula	1	0-5
Ligera	2	5-10
Baja	3	10-25
Moderada baja	4	25-50
Moderada alta	5	50-100
Alta	6	100-200
Muy alta	7	>200

Figura 77: rangos de erosión de suelo

Fuente: (Cobo, 2018)

5.1.8.2 Factor de erosión por la lluvia (R)

Ecuación 36: factor de erosión por la lluvia por el índice modificado de Fournier (IFM).

Fuente: (García J. , 2011)

$$\mathrm{R} = \mathrm{IFM} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{12}(pi)^2}{P}\right]$$

Dónde:
IMF: índice de agresividad climática
pi: precipitación del mes (mm)
P: precipitación media anual (mm)

Ecuación 37: factor de erosión por lluvia con intensidad de 30 minutos

Fuente: (García J. , 2011)

$$\mathrm{R} = \mathrm{E} * I_{30}$$

Dónde:
E: energía cinética de la lluvia
I_{30}: intensidad de lluvia en 30 minutos

5.1.8.3 Factor de erosión del suelo (K)

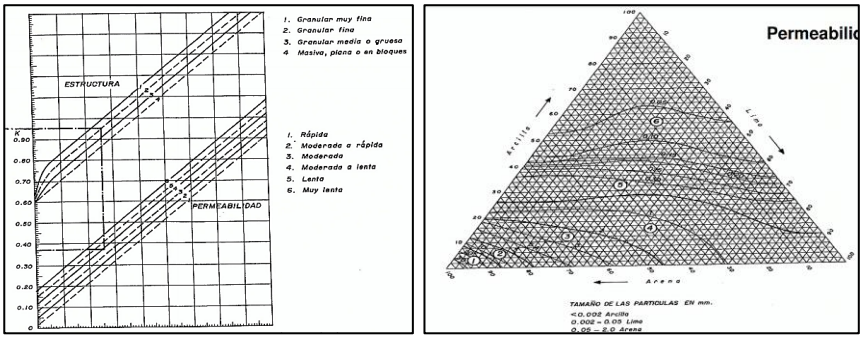


Figura 78: factor K usando el nomograma de Wischmeier y Smith (1978).

Fuente: (García J. , 2011)

5.1.8.4 Factor de longitud del terreno (L) y factor de pendiente del terreno (S)

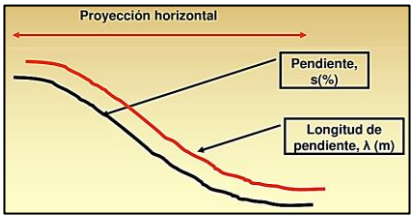


Figura 79: factor L y S.

Fuente: (García J. , 2011)

Ecuación 38: factor de longitud del terreno y de pendiente

Fuente: (García J. , 2011)

Para s < 9% y λ > 350 m

$$L * S = \left[\frac{\lambda}{22.1}\right]^{0.3} * \left[\frac{0.43 + 0.3 * s + 0.043 * s^2}{6.613}\right]$$

Ecuación 39: factor de longitud del terreno y de pendiente

Fuente: (García J. , 2011)

Para s > 9% y λ > 350 m

$$L * S = \left[\frac{\lambda}{22.1}\right]^{0.3} * \left[\frac{s}{9}\right]^{1.3}$$

Ecuación 40: factor de longitud del terreno y de pendiente

Fuente: (García J. , 2011)

Para s < 20% y λ < 350 m

$$L * S = [\lambda]^{0.5} * [0.0138 + 0.00965 * s + 0.00138 * s^2]$$

Ecuación 41: factor de longitud del terreno y de pendiente

Fuente: (García J. , 2011)

Para s > 20% y λ < 350 m

$$L * S = \left[\frac{\lambda}{22.13}\right]^{0.6} * \left[\frac{s}{9}\right]^{1.3}$$

Dónde:
λ: longitud de pendiente (m)
s: pendiente (%)

Tabla 25: factor L*S

Fuente: (García J. , 2011)

s (%)	Factor L*S
100	28.5
70	21.8
60	18.5
30	10.7
24	6.7
18	4.4
12	2.4
3	0.5

5.1.8.5 factor de cobertura y manejo de vegetación (C)

Tipo de usos del suelo	Valor del factor C
Arbolado con Fcc > 70%. Bosque	0,01
Arbolado con Fcc: 20%-70%	0,03
Arbolado con matorral (<20%)	0,04
Matorral con arbustos, Fcc < 70 %	0,20
Matorral con arbustos, Fcc > 70 %	0,10
Pastizal con matorral	0,15
Pastizal	0,10
Cultivos arbóreos de secano (almendros, olivos, viñedos, ...)	*Uso del suelo*
Cultivos anuales y herbáceos	0,25
Cultivos en regadío	0,04
Improductivo (poblaciones, embalses, canteras, roquedos, ...)	1,00

Figura 80: factor C

Fuente: (Falconí, 2013)

5.1.8.6 factor de prácticas de conservación (P)

Tabla 26: factor P

Fuente: (García J. , 2011)

s (%)	Cultivo a nivel	Cultivo en fajas	Cultivo en terrazas	
1 a 2	0.6	0.3	0.12	
3 a 5	0.5	0.25	0.1	
6 a 8	0.5	0.25	0.1	**Factor P**
9 a 12	0.6	0.3	0.12	
13 a 16	0.7	0.35	0.14	
17 a 20	0.8	0.4	0.16	
21 a 25	0.9	0.45	0.18	

5.1.8.7 Volumen erosionado

Ecuación 42: volumen erosionado

Fuente: (Cobo, 2018)

$$Ve = \frac{Ms}{\rho s}$$

Dónde:
Ms: masa seca (gr)
ρs: densidad seca (gr/m^3)

5.1.8.8 Altura del material erosionado

Ecuación 43:altura del material erosionado

Fuente: (Cobo, 2018)

$$he = \frac{Ve}{Ai}$$

Dónde:
Ve: volumen erosionado (m^3)
Ai: área inclinada que le corresponde al material erosionado (m^2)

5.1.8.9 Estimación de la erosión por síntomas

Se hace una estimación de la erosión de manera visual, se coloca un valor numérico referente al nivel de afectación del talud (Ramajo, 2014).

Tabla 27:estimación de erosión por síntomas

Fuente: (Ramajo, 2014)

Calificación	Requisitos
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.

5.2 Erosión en el Ecuador

El Ecuador es afectado por varios procesos erosivos, el 50% del territorio es afectado por la erosión. El mapa de los principales procesos erosivos en el Ecuador permite diferenciar los procesos en función de diferentes intensidades (muy activa, activa, activa y potencial, y potencial). Muy activa y activa son los procesos que afectan de manera intensiva a una parte significativa de terreno.

Tabla 28: intensidad de procesos erosivos en Ecuador.

Fuente: (Peltre, 2016)

Intensidad de los procesos erosivos	Porcentajes estimados en relación con la superficie del Ecuador
Muy activa	1.3
Activa	7.7
Activa y potencial	3.1
Potencial	35.8
Total	47.9

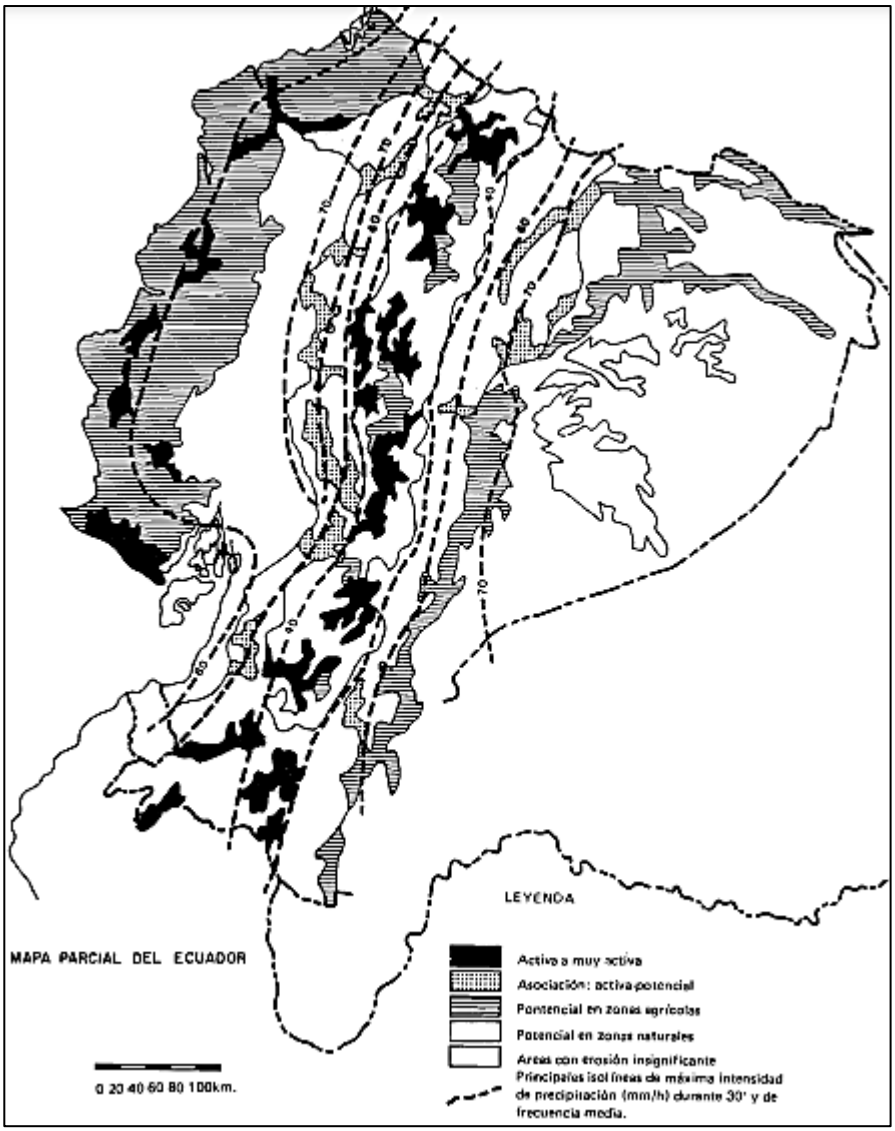


Figura 81: Mapa de las principales zonas erosionables del Ecuador.

Fuente: (Peltre, 2016)

El área activa que puede verse afectada por la erosión representa el 47,9% de la superficie del país. Se puede ver en el mapa que la región de la Sierra es la más afectada por la erosión porque está dominada por una intensidad de procesos erosivos muy activa (Peltre, 2016).

5.2.1 Clases de intensidad de erosión en Ecuador

La intensidad de erosión será calificada como muy activa, activa, activa y potencial, potencial, en los cuales al emplear los calificativos se hace referencia cuando estos procesos afectan de forma generalizada a una parte del terreno (Peltre, 2016).

5.2.2 *Procesos erosivos muy activos y activos en Ecuador*

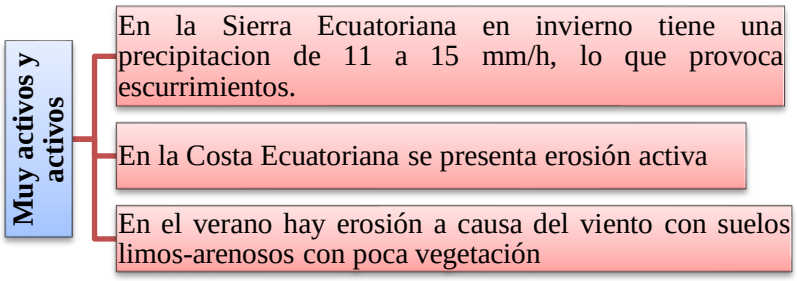


Ilustración 34: muy activos y activos

Fuente: (Gómez, 2018)

5.2.3 *Procesos erosivos activos y potenciales en Ecuador*

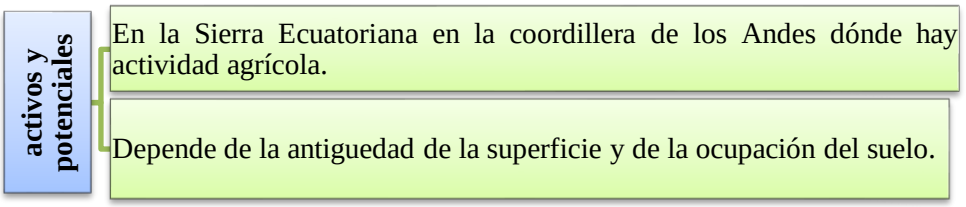


Ilustración 35: activos y potenciales

Fuente: (Gómez, 2018)

5.2.4 *Procesos erosivos potenciales en Ecuador*

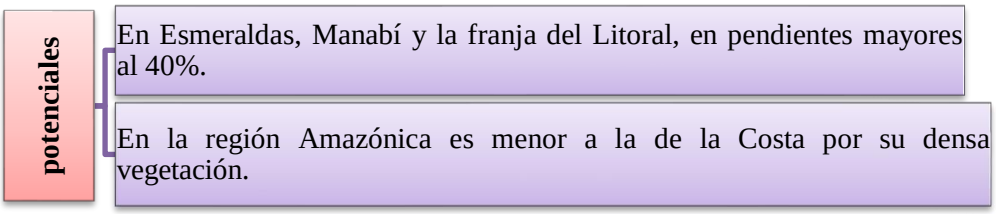


Ilustración 36:potenciales

Fuente: (Gómez, 2018)

5.2.5 *Causas de erosión en Ecuador*

Los factores climáticos, precipitaciones y viento son los causantes de la erosión. El factor más agresivo es el agua que se da por fuertes precipitaciones y alturas pluviométricas durante 9 meses, los 3 meses restantes la erosión se da por presencia de vientos. Se debe tomar en cuenta que cuando hay más pendiente de inclinación de los taludes, aumenta más los riegos de intensificación de erosión. En el valle de los

chillos se constató que existe entre 200 Ton/hectárea a 500 Ton/hectárea de suelo perdida por año en taludes con pendientes cercanas al 25% (Peltre, 2016).

5.2.6 Factores que influyen en la erosión en Ecuador

Tabla 29: factores que influyen en la erosión

Fuente: (Peltre, 2016)

Factores creadores	precipitaciones y viento
Factores condicionantes	pendiente
	formaciones superficiales
	agricultura o construcción

Características del suelo	distribución de partículas
	contenido de materia orgánica
	estructura
	permeabilidad

Ilustración 37: características del suelo

Fuente: (Gómez, 2018)

Topografía	pendiente
	forma
	longitud

Ilustración 38: topografía

Fuente: (Gómez, 2018)

Cubierta vegetal	protección de la superficie del suelo de las gotas de lluvia
	incremento de la resistencia de corte de las escorrentía
	mejora la infiltración del suelo
	disminuye escorrentía
	menor humedad del suelo

Ilustración 39: cubierta vegetal

Fuente: (Gómez, 2018)

Clima	frecuencia de lluvia
	intensidad de lluvia
	duración de lluvia

Ilustración 40: cubierta vegetal

Fuente: (Gómez, 2018)

6. CAPÍTULO VI: MANTOS DE CONTROL DE EROSIÓN

6.1 Métodos para formar taludes

6.1.1 Conformación del talud

La forma del talud debe tener:

- Equilibrio de masas que tenga un factor de seguridad que asegure la estabilidad del talud
- Velocidad baja de escorrentía para que el agua en movimiento no pueda generar erosión en el suelo del talud

Ilustración 41:forma del talud

Fuente: (Suarez, 2020)

Tabla 30:Métodos para conformación del talud

Fuente: (Suarez, 2020)

Método	Ventajas	Desventajas
Remoción de materiales de la cabeza del talud	estabilización de deslizamientos rotacionales	masas para remover tienen gran magnitud
Abatimiento de la pendiente	efectivo en suelos con fricción	es costoso en taludes de gran altura
Terraceo de la superficie	ayuda en la construcción de obras de control de erosión	debe ser estable cada terraza de forma independiente

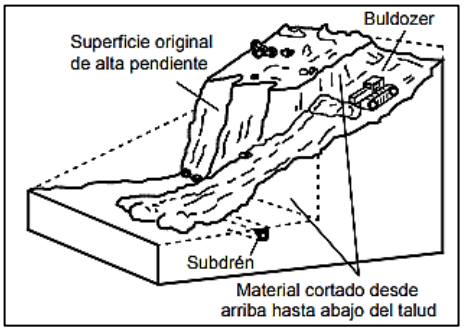


Figura 82: conformación del talud

Fuente: (Suarez, 2020)

6.1.2 Recubrimiento de la superficie del talud

Por este medio se construye un drenaje que no permite infiltraciones de agua en el talud y reduce la erosión del suelo (Suarez, 2020).

Tabla 31: Métodos para recubrimiento del talud

Fuente: (Suarez, 2020)

Método	Ventajas	Desventajas
Recubrimiento de la superficie del talud	ayuda en el control de erosión	garantizar la estabilidad del recubrimiento
Conformación de la superficie	mejora el drenaje y controla la erosión	estabilidad limitada
Sellado de grietas de la superficie	reduce infiltración de agua	mantenimiento por largo tiempo
Sellado de juntas y discontinuidades	reduce infiltración de agua en las discontinuidades	se debe sellar discontinuidades
Cobertura vegetal	alternativa ecológica	mantenimiento por largo tiempo



Fotografía 12: recubrimiento del talud

Fuente: (Suarez, 2020)

6.1.3 Control de agua superficial y subterránea del talud

Estos métodos permiten controlar el agua y sus efectos, reduciendo las fuerzas que provocan movimiento de masas (Suarez, 2020).

Tabla 32: Métodos para control de agua superficial y subterránea del talud

Fuente: (Suarez, 2020)

Método	Ventajas	Desventajas
Canales superficiales	zanjas se construyen arriba de la corona del talud	estructuras para disipación de energía
Sub-drenes de zanja	estabiliza deslizamientos superficiales en suelos saturados	poco efectivo en estabilización de deslizamientos superficiales
Sub-drenes horizontales de penetración	controla aguas subterráneas casi profundas	alto costo de equipos especiales de perforación
Túneles de subdrenaje	estabiliza deslizamientos profundos con aguas subterráneas	muy costosos

Pozos profundos de subdrenaje	estabiliza deslizamientos profundos con aguas subterráneas	uso limitado por la operación y mantenimiento permanente

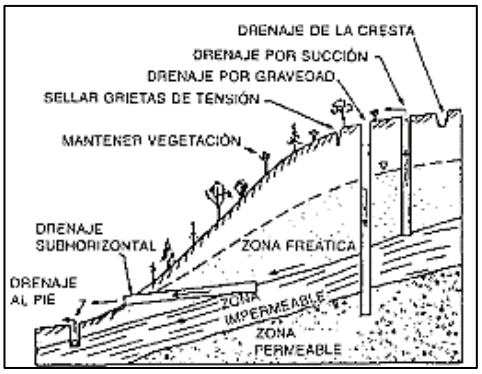


Figura 83: control de agua superficial y subterránea del talud

Fuente: (Suarez, 2020)

6.1.4 Estructuras de contención del talud

Hacen que el suelo del talud sostenga cargas y ángulos muy inclinados de pendiente sin que el suelo se deslice (Suarez, 2020).

Tabla 33: Estructuras de contención del talud

Fuente: (Suarez, 2020)

Estructuras	Ventajas	Desventajas
Relleno de roca en la base del deslizamiento	efectivo en deslizamientos rotacionales	se necesita tener una buena cimentación para colocar el relleno
Muros de contención	estabiliza masas pequeñas	se necesita tener una buena cimentación para colocar el relleno
Pilotes	efectivo en movimientos superficiales	poco efectivo en movimientos profundos
Anclajes	efectivo en roca	alto costo de equipos
Pantallas ancladas	contención de masas pequeñas y medianas	incertidumbre sobre su efectividad en aguas subterráneas

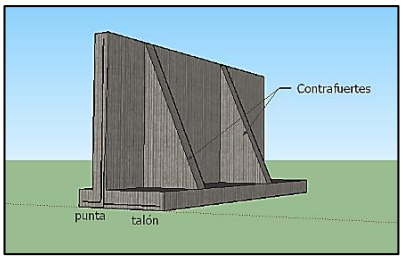


Figura 84: contención del talud

Fuente: (Suarez, 2020)

6.1.5 Mejoramiento de suelo del talud

Son procedimientos que aumenta la cohesión y fricción del suelo del talud modificado para su mejora (Suarez, 2020).

Tabla 34: Mejoramiento de suelo del talud

Fuente: (Suarez, 2020)

Método	Ventajas	Desventajas
Inyecciones	cementan la superficie de falla	disminuye permeabilidad
Magmaficación	usa rayos especiales que convierte el suelo en roca	uso experimental
Congelación	endurece el suelo al congelarlo	efectos temporales
Electro osmosis	reduce el contenido de agua	efectos temporales
Explosivos	fragmenta la superficie de falla	efecto limitado

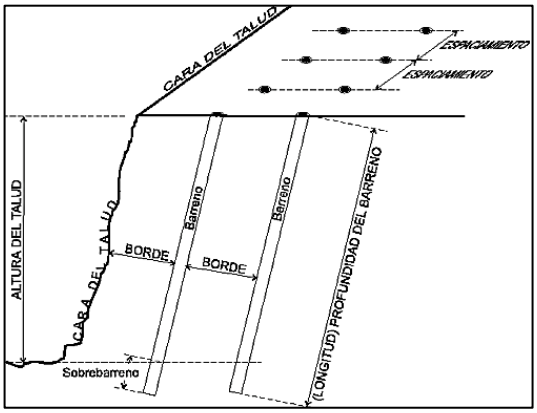


Figura 85: mejoramiento de suelo del talud

Fuente: (Suarez, 2020)

6.2 Geomantos

Los geomantos tienen la posibilidad de ser colocados en uno o dos lados de mantos tridimensionales para controlar la erosión, los que son calibrados y realizados, para anticipar las condiciones de trabajo en donde serán instalados. La fibra biodegradable utilizada, podría ser de paja, viruta de madera, fibras de coco, fibras de fique o cabuya, polipropileno o mezclas de las anteriores. La variada forma de afirmar el material en medio de las mallas, integran agujereados con hilos de polipropileno, y otras poliolefinas, hasta los ligados por adhesivos. Los campos de aplicación de dichos mantos integran la protección de taludes y en canales con flujos intermitentes de agua, llegando a tolerar caudales hasta 3 m^3/s. Ciertos materiales, obedecen a los más

elevados niveles de refinamiento en la industria textil con textiles producidos con monofilamentos que generan construcciones tridimensionales llegando a resistir caudales de hasta 7 m^3/s. Como el proceso de la degradación es constante, las cadenas poliméricas se parten en fracciones cada vez más pequeñas, conformando una arena de procedencia plástico, incorporándose a la composición de suelo natural (Caicedo, 2017).

Comparando los geomantos con el suelo desnudo, los geomantos minimizan la erosión del suelo en más del 50%. Los geomantos pueden ser temporales (elaborados con fibras naturales) o permanentes (elaborados con fibras sintéticas). El uso del geomanto depende del tamaño, pendiente del talud y tipo de suelo. Los geomantos tienen una simple instalación en los taludes. Los geomantos retienen el suelo y a la vez promueven el aumento de la vegetación construyendo una especie de refuerzo en el suelo, disipan la penetración del agua y aumenta el coeficiente de rugosidad del suelo. Sus materiales orgánicos de alta resistencia como el yute o fibra de coco favorecen el aumento de la vegetación en el talud (Larranaga, 2015).



Fotografía 13: geomantos

Fuente: (Pivaltec, 2019)

6.2.1 Aplicaciones de geomantos

Según los fabricantes, los geomantos pueden ser utilizados en:

Aplicaciones de geomantos

- Construcción de plataformas de vegetación
- Evitar deslizamientos de tierra y erosión hídrica, especialmente cerca de la construcción de carreteras
- Reforzar la tierra o la costa ribereña
- Refuerce las pendientes o el terreno cerca de canales, lechos de carreteras y riberas de ríos
- No deja que se mezclen los materiales del suelo evitando que se contamine
- Permite pasar el fluido sin que se contamine el suelo
- Ayuda a tener mayor estabilidad debido a la fricción del manto
- Aumenta la absorción del suelo

Ilustración 42: aplicaciones de geomantos

Fuente: (Pivaltec, 2019)

Los geomantos en el suelo tienen 3 funciones principales que son aislamiento, filtración y protección. El diseño del geomanto depende del tipo, tamaño, humedad y pendiente del talud (Pivaltec, 2019).

6.2.2 Usos de geomantos

Usos de geomantos

- Protege el suelo desnudo contra la erosión del suelo
- Tienen superficie estable que protege contra los efectos erosivos del agua
- Garantiza una rápida revegetación
- Reducen la erosión del suelo en un 50%
- Tienen alta resistencia a la tracción soportando una velocidad de 4 m/s.
- Evita el flujo de sedimentos del suelo
- Fortalecen las raíces de la vegetación junto con el suelo

Ilustración 43: usos de geomantos

Fuente: (Geoaceperu, 2019)

Tabla 35: funciones en diferentes campos de aplicación de los geomantos

Fuente: (Geoaceperu, 2019)

Campo de aplicación	Función
Carreteras	separación, filtración, protección y drenaje
Ferrocarriles	separación y filtración
Obras hidráulicas	separación, filtración y drenaje
Drenajes	separación, filtración y drenaje
Taludes	refuerzo y drenaje
Túneles	protección y drenaje
Vertederos	refuerzo, protección y drenaje

6.2.3 Ventajas de geomantos

Ventajas de geomantos

- Fácil y rápida instalación y transporte
- Protección inmediata del suelo
- Evita el desprendimiento de partículas de suelo por el escurrimiento superficial
- Control de escorrentía al reducir la velocidad del agua
- Permite sembrar antes y después de la instalación

Ilustración 44: ventajas de geomantos

Fuente: (Geoaceperu, 2019)

6.2.4 Tipos de geomantos

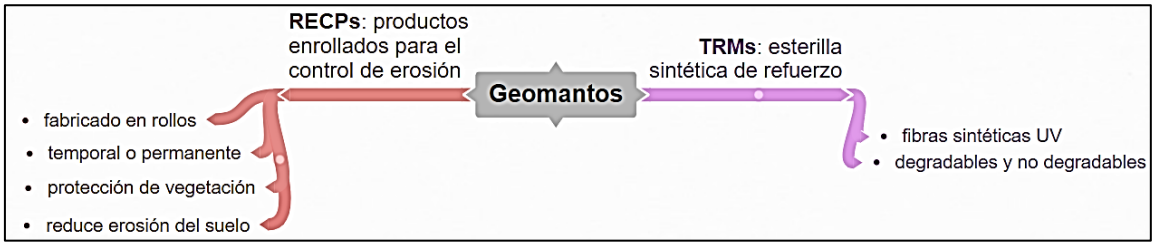
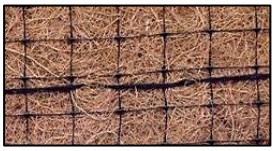


Figura 86: RECPs y TRMs

Fuente: (Tafur, 2019)

6.2.4.1 Rolled erosión control product (RECPs)

Es un material fabricado en rollos de fibras naturales (yute, cabuya, variedades musáceas, coco) reforzado con una malla de polipropileno que podría ser temporal degradable. El geomanto de fibra de coco provee al suelo de una alta defensa contra la erosión permitiendo una baja tasa de pérdida de suelo. Después que el geomanto de fibra de coco se degrada, la vegetación madura estabiliza el suelo permanentemente (Torres J. , 2017).



Fotografía 14:RECPs

Fuente: (Torres J. , 2017)

Características:

- Mantener el control de la erosión provocada por el viento o agua en un tiempo de 18 a 36 meses, minimiza la sedimentación en canales, posibilita la revegetación en regiones alteradas o intervenidas.
- Estabilización de taludes empinadas, salvaguarda de las semillas del arrastre de agua (velocidad de flujo 1 a 2 m/s por bastante más de 24h).
- Resiste la tracción (entre 2 a 5 kg/m^2) (Torres J. , 2017).

Aplicación:

- Taludes escalonados, estabilización de taludes 3:1 y 2:1, canales de flujo, regiones con alta precipitación y escurrimiento, suelos sensibles a la erosión, márgenes de ríos y regiones de recreación (Torres J. , 2017).

- Se debería tomar en consideración diversos puntos para que se pueda el buen manejo de la geomanto como que el suelo debería ser fértil para plantar la vegetación que posibilite conceder la igualdad elemental sobre el talud. El geomanto otorga un clima que simula a un invernadero para que crezca la vegetación (Torres J. , 2017).

6.2.4.2 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% del geomanto tiene espacio independiente para que se desarrolle la vegetación en el área del talud (Torres J. , 2017).



Fotografía 15:TRMs

Fuente: (Torres J. , 2017)

Características:

Controla la erosión por viento y agua (velocidad de flujo 2.4 a 3 m/s (sin vegetación) y de 4.2 a 6 m/s (con vegetación) por más de 24 horas), una vez que se revegete la geomanto duplica la efectividad de sus características, salvaguarda contra el alto empuje hidrostático, así como contra gigantes flujos hidráulicos creadas por los vertidos de escurrimientos obteniendo un 99% de efectividad (Torres J. , 2017).

Aplicación:

- Control de erosión en taludes
- Control de erosión en canales
- Control de caída de detritus
- Fachada de muros SME (Torres J. , 2017).

6.2.4.3 Por tipo de material

- **Biodegradables**: Son mantos que se descomponen en elementos químicos naturales por la acción de agentes ambientales como el sol, agua, etc. Destaca

por su excelente resistencia, es biodegradable y se fusiona con el suelo. Permite que pase la luz solar y promueve cualquier germinación de plantas (Tafur, 2019).

- **Fotodegradables:** Son mantos que se degradan por la exposición a la luz. Es una red sintética verde de aspecto natural que puede proteger la superficie del suelo. El propósito de este tipo de tejido es fijar el suelo ayudando a la vegetación a crecer en su superficie (Tafur, 2019).

6.2.4.4 Por su duración

- **Temporales:** Son mantos flexibles y permeables, formadas por fibras naturales biodegradables combinadas con fibras sintéticas sujetas por mallas que pueden ser o no fotodegradables. Algunos materiales que se usan en las fibras naturales son la paja, heno, yute, coco o virutas de madera. El tejido de Fique es de fibra natural tropical de alta resistencia a la tensión y al igual que el de Yute, gran capacidad de absorción del agua. El tejido de fibra de coco tiene una alta resistencia a la tensión y adicional una buena durabilidad con una vida eficaz aproximada de 5 a 10 años dependiendo de las condiciones de humedad. Son aptos para taludes con inclinaciones como 4H:1V, 3H:1V, 2H:1V, 1.5H:1V, 1H:1V y poseen una duración de 12 a 36 meses (Tafur, 2019).



Fotografía 16: geomantos temporales

Fuente: (Tafur, 2019)

- **Permanentes:** Son mantos de polipropileno flexibles y permeables, formadas por mallas o tramas sintéticas tridimensionales, ayudan a que se generen raíces fuertes que protegen al suelo contra la erosión. Superficie plana o tridimensional de colores verde o beige. El material de las fibras sintéticas son el polipropileno, poliamida, etc. Son aptos para taludes con inclinaciones como 2H:1V, 1H:1V, 0.5H:1V y poseen una duración de más de 36 meses (Tafur, 2019).



Fotografía 17: geomantos permanentes

Fuente: (Tafur, 2019)

6.2.5 Propiedades físicas y mecánicas de los geomantos

Propiedad	Descripción	Método de ensayo	Importancia
Peso	El peso es la medida de la masa por unidad de área y tiene unidades de gramo/m²	ASTM D 5261	El peso se relaciona con la durabilidad y la efectividad como capa de Mulching.
Espesor	Es la dimensión perpendicular a la superficie del manto.	ASTM D 5199 ASTM D1777	El espesor está relacionado con su efectividad como Mulching.
Porosidad	Es una medida de los vacíos de aire dentro del material.	Indirectamente del espesor, peso y gravedad específica.	Un material muy poroso tiene menos restricciones para el establecimiento de vegetación y el flujo de agua.
Penetración de la luz	Mide la habilidad de crear sombra sobre la superficie del terreno.	Procedimiento no estándar iluminando el interior de una caja con una luz.	Está relacionado con la habilidad para promover la germinación de las semillas y la germinación de las plantas.
Volumen abierto	Mide el volumen por unidad de área que puede rellenarse con suelo.	Indirectamente con el espesor y la porosidad.	Entre más abierto es más fácil establecer la vegetación.
Gravedad especifica	Mide la relación entre el peso específico del material y el del agua.	ASTM D 792 método A	Mide la posibilidad de que el material flote cuando se encuentre bajo el agua.
Resistencia a la tensión	Mide la resistencia de los materiales a la tracción.	ASTM D 5035	En altas pendientes se requieren altas resistencias a la tensión.
Elongación	Es una medida de cuanto se estira el material antes de romperse.	ASTM D 5035	Debe existir un grado de elongación para conformarse al terreno.

Propiedad	Descripción	Método de ensayo	Importancia
Resistencia al rasgado	Mide la capacidad de resistir grandes fuerzas.	ASTM D 4533	Utilizado para medir la resistencia a la fuerza de las olas.
Rigidez o flexibilidad	Mide la facilidad como se conforma sobre una superficie no uniforme.	ASTM D 1388 o D 1388-64	Entre menos rígido se conforma mejor al terreno y protege mejor.
Resiliencia	Mide el porcentaje de recuperación de espesor después de aplicaciones repetitivas de cargas.	Procedimiento no estándar pero para medir los espesores se utiliza ASTM D 5199	Mide su adaptación al pisoteo de personas o animales o paso de vehículos.
Resistencia a la fuerza tractiva	Mide la resistencia a un flujo de agua con velocidades hasta de 6 m/seg.	Ensayo de flujo en canal no estándar.	Permite definir si el producto puede resistir las fuerzas de una corriente de agua.
Velocidad de flujo	Determina la velocidad de agua que puede resistir antes de romperse.	ASTM D 4491	Mide indirectamente la resistencia a la fuerza tractiva.
Fluencia	Mide la deformación con el tiempo bajo carga constante.	ASTM D 5262	Es una medida de la durabilidad del material.
Resistencia química	Mide la habilidad de un material a sufrir deterioro por la exposición a un químico.	ASTM D 5322	Permite evaluar la posibilidad de utilizar el material en aguas contaminadas.
Estabilidad ultravioleta UV	Mide la habilidad de un material a retener sus propiedades cuando es expuesto a la luz solar.	ASTM D 4355 y G35	Permite evaluar si el material puede utilizarse para obras expuestas a la luz.
Absorción de agua	Mide la cantidad de agua o humedad que el material pueda absorber.	ASTM D 1117	La humedad es crítica para poder establecer la vegetación.
Resistencia a la quema	Mide la flamabilidad del material.	Prueba no estándar utilizando un cigarrillo.	La resistencia a las quemas es muy importante.
Resistencia a la erosión	Mide la erosión del suelo una vez colocado el material.	No estándar utilizando un simulador de lluvia.	Permite definir la eficiencia del material para el control de la erosión.
Rugosidad n de Manning	Mide la rugosidad de la superficie al flujo de agua.	Prueba no estándar de flujo en canal.	Determina el efecto sobre el flujo en una corriente.
Factor C	Mide el factor C en la ecuación universal de pérdidas de suelo.	Pruebas no estándar.	Permite determinar los efectos de protección contra la erosión.

Figura 87: Evaluación de propiedades de geomantos

Fuente: (Vinueza, 2016)

6.3 Geomantos temporales y permanentes disponibles en Ecuador

En Ecuador hay muchas empresas que tienen a la venta varios geomantos de control de erosión tanto temporales como permanentes, con propiedades físicas y mecánicas similares. Algunas de las muchas empresas que venden geomantos en Ecuador son: Retgeo, IDS, Pivaltec, Industrias Geo ambientales Montecristi, Indapesa, Geomatrix, etc.

6.3.1 Propiedades del geomanto permanente establecidos por el fabricante Pivaltec

Se usará el geomanto GMAT DS310 elaborado de fibras sintéticas (polipropileno, poliéster y polietileno) de la empresa fabricante Pivaltec (Pivaltec, 2019).

Tabla 36: propiedades de geomanto permanente

Fuente: (Pivaltec, 2019)

GMAT DS310 (Pivaltec)			
Propiedades	**Norma ASTM**	**Unidades**	**Valores**
masa por unidad de área	ASTM D 6475	gr/ m^2	260

resistencia a la tracción	ASTM D 6818	KN/m	7
elongación	ASTM D 6818	%	30
espesor	ASTM D 5199	mm	9
penetración de luz	METODO ECTC	%	15
estabilidad a la UV	ASTM D 4355	%	90
duración	-	meses	36 a 60
ancho	-	m	2.40
largo	-	m	33.33
área	-	m^2	80



Fotografía 18: geomanto permanente GMAT DS310

Fuente: (Pivaltec, 2019)

6.3.2 Propiedades de geomanto temporal establecidos por el fabricante Pivaltec

Se usará el geomanto GMAT VT400, es un manto para control de erosión y revegetación, formado por fibras naturales, fabricado por la empresa Pivaltec (Pivaltec, 2019).

Tabla 37: propiedades de geomanto temporal

Fuente: (Pivaltec, 2019)

GMAT VT400 (Pivaltec)			
Propiedades	**Norma ASTM**	**Unidades**	**Valores**
masa por unidad de área	ASTM D 6475	gr/ m^2	240
resistencia a la tracción	ASTM D 6818	KN/m	4.12
elongación	ASTM D 6818	%	30
espesor	ASTM D 5199	mm	8
penetración de luz	METODO ECTC	%	15
estabilidad a la UV	ASTM D 4355	%	90
duración	-	meses	18 a 36
ancho	-	m	2.40
largo	-	m	33.33
área	-	m^2	80



Fotografía 19: geomanto temporal GMAT VT400

Fuente: (Industrias Geoambientales Montecristi, 2021)

6.4 Instalación de geomantos

En base al suelo del talud en estudio se elegirá el procedimiento más conveniente de protección de los taludes frente a la erosión. Para elegir el geomanto que se usara en el talud, se debe conocer las propiedades mecánicas y físicas del geomanto a usarse (USDA, 2019).

Es necesario que los geomantos a usarse cumplan con las normas ASTM a continuación descritas:

Tabla 38:normas ASTM de geomantos
Fuente: (ASTMD4632, 2015) (ASTMD4833, 2020) (ASTMD6818, 2021) (ASTMD6525, 2018) (ASTMD6475, 2017) (ASTMD6566, 2018) (ASTMD4533, 2015)

Normas	Descripción
ASTM D 4632	Carga de rotura y elongación en geotextiles (Método Grab)
ASTM D 4533	Resistencia de rasgado trapezoidal de geotextiles
ASTM D 4833	Resistencia de punzonamiento de geotextiles/geomembranas
ASTM D 6818	Tracción y elongación a la rotura de geomantos
ASTM D 6525	Método de prueba estándar para medir el espesor nominal de los productos de control de erosión laminados
ASTM D 6475	Método de prueba estándar para la medición de la masa por unidad de área de las mantas de control de la erosión
ASTM D 6566	Método de prueba estándar para medir la masa por unidad de área TRMs

La clave del procedimiento es mantener el contacto del geomanto con el área del suelo del talud modelado, tomando en consideración el siguiente procedimiento general de instalación (USDA, 2019).

6.4.1 Preparación del terreno

Se limpian escombros y raíces, y se perfila la superficie del talud con la inclinación especificado en planos. Los huecos se rellenan y se excava suelo en la corona y pie del talud para anclar el manto. En la corona del talud 0.15 m de ancho x 0.30 m de profundidad, y en el pie del talud 0,60 m a 0,90 m del borde, utilizando ganchos en ¨U¨o estacas triangulares (Vinueza, 2016).

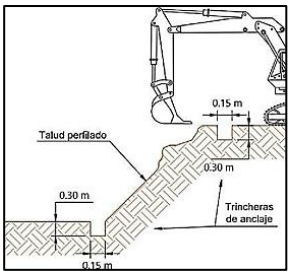


Figura 88: preparación del terreno

Fuente: (Vinueza, 2016)

6.4.2 Siembra de cobertura vegetal

Se cultiva las semillas o brotes en el suelo del talud con suelo fértil antes de la instalación del manto (Vinueza, 2016).

6.4.3 Cubrir la superficie con el geomanto

Se coloca el geomanto en la zanja superior y lo anclamos en el borde del material y se desenrolla el geomanto hacia abajo del talud. Se podrá utilizar grapas tipo J, U y estacas de anclaje triangulares. La varilla metálica debe tener un diámetro mínimo de 6,40 mm. Las dimensiones de las grapas deben establecerse de acuerdo con las condiciones del lugar (Vinueza, 2016).

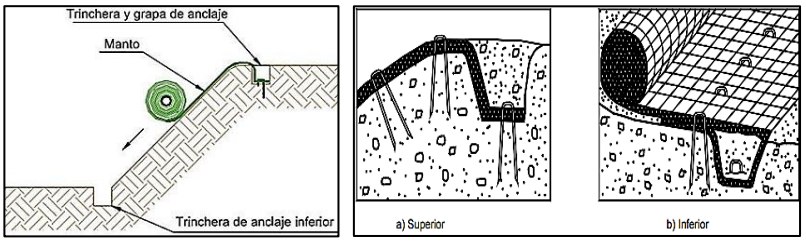


Figura 89: superficie del geomanto y anclaje del borde de los mantos

Fuente: (Vinueza, 2016)

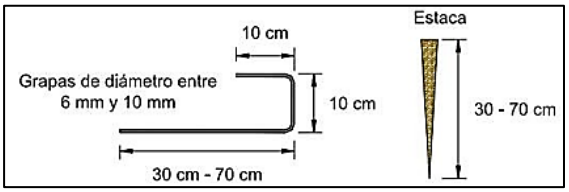


Figura 90:anclaje

Fuente: (Vinueza, 2016)

6.4.4 Corte del geomanto y relleno de las trincheras

Fijamos el geomanto con las grapas a cada metro en la parte inferior del talud y cortamos el excedente. Se rellena las zanjas de anclaje con suelo y se compacta (Vinueza, 2016).

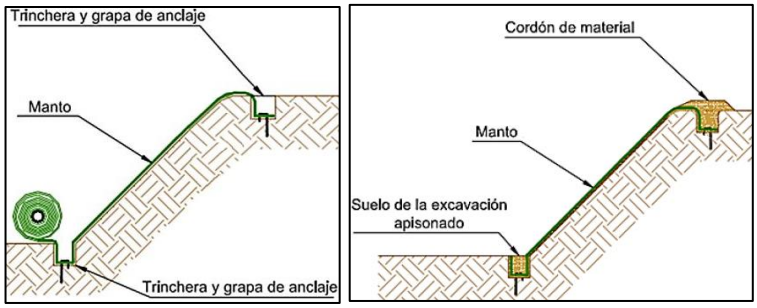


Figura 91: Corte del geomanto y relleno de zanjas

Fuente: (Vinueza, 2016)

6.4.5 Aseguramiento en las juntas y bordes

Se traslapan cada 20 cm con grapas de anclaje separadas de 50 cm a 100 cm (Vinueza, 2016).

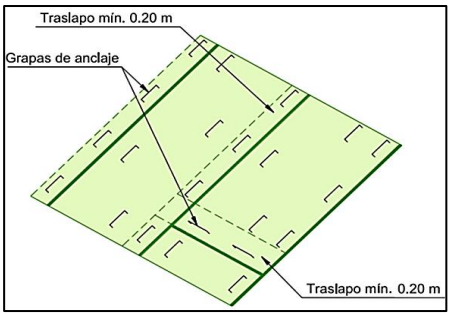


Figura 92: Traslapes y juntas

Fuente: (Vinueza, 2016)

6.4.6 Colocación de grapas intermedias

Se coloca grapas en la superficie de la mitad que tenga un contacto adherido al terreno. La cantidad de grapas va de acuerdo con la pendiente del talud. (Vinueza, 2016)

Tabla 39: grapas intermedias

Fuente: (Vinueza, 2016)

Pendiente	Anclaje
Hasta 3H:1V	1.35 anclajes/m^2
3H:1V a 2H:1V	2 anclajes/ m^2

2H:1V a 1H:1V	2 a 4.1 anclajes/ m^2
Mayor a 1H:1V	> 4 anclajes/ m^2

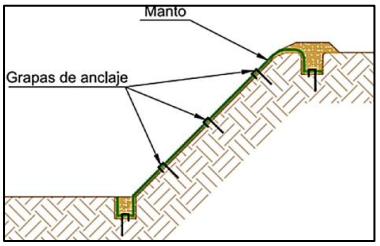


Figura 93: Aseguramiento del manto

Fuente: (Vinueza, 2016)

6.4.7 Riego permanente

Se regará con gotas de agua la vegetación del talud con riegos periódicos de 1 mes a 2 meses. (Vinueza, 2016)

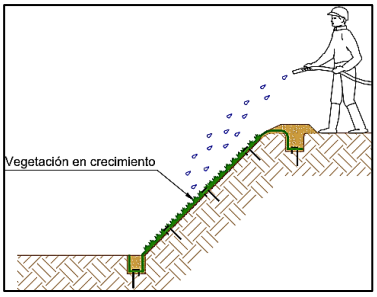


Figura 94: Riego y mantenimiento

Fuente: (Vinueza, 2016)

6.4.8 Esquema general de instalación

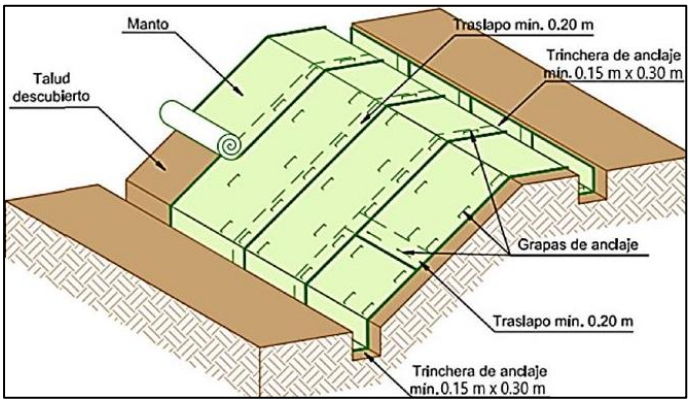


Figura 95: Esquema general de instalación del manto para control de erosión

Fuente: (Vinueza, 2016)

7. CAPÍTULO VII: VETIVER

7.1 Vegetación en el talud

7.1.1 Efectos de la vegetación en el talud

La predominación de la vegetación juega un papel bastante fundamental en el control de erosión mínima inducida por escorrentía de taludes. Lentamente se va mostrando que la vegetación tiene un impacto positivo y puede evadir inconvenientes como erosión, fragmentación y flujo de escombros. La vegetación más espesa puede minimizar más eficazmente el efecto de la lluvia, disminuyendo de esta forma la erosión. Tenemos la posibilidad de revisar cómo la escorrentía del agua y su erosión son inversamente proporcionales a la densidad y el volumen de las hojas. Por tal fundamento buscamos que el área del talud sea cubierta por vegetación, en esta situación con nuestro pasto Vetiver. El vetiver genera un efecto visual agradable en la vía. Al mantener el control de la erosión además reducen los accidentes de tránsito que tienen la posibilidad de darse gracias a deslaves y caídas de material de los taludes que bordean las vías y carreteras por la acción de las lluvias. Las propiedades y magnitud del proceso de erosión dependerán primordialmente de la rapidez del agua y esta paralelamente es dependiente de las pendientes del talud. El precio de la custodia de los taludes dependerá de la tecnología a emplearse, en esta situación las resoluciones naturales son las más económicas (Sandoval, 2018).

Efectos de la vegetación en el talud	No deja que se filtre parte de la lluvia al suelo
	Aumenta la capacidad de infiltración frente a aguas lluvias
	Extrae la humedad del suelo
	Las raíces aumentan la resistencia de corte y tensión
	Las raíces se anclan al suelo superficial y profundo
	Detienen las partículas del suelo evitando la erosión

Ilustración 45: efectos de la vegetación en un talud

Fuente: (Sandoval, 2018)

La lluvia al caer se divide en la que cae de manera directa sobre el suelo y la lluvia que es atrapada por la frondosidad de la vegetación. la lluvia retenida es la que es atrapada por las hojas de la vegetación en el talud (Sandoval, 2018).

Ecuación 44: lluvia retenida

Fuente: (Sandoval, 2018)

$$lluvia\ retenida = lluvia * \%\ area\ del\ follaje$$

Hong Kong usa vegetación para cubrir áreas de taludes cuyo ángulo de pendiente sea menor a 55º. Gracias a su refuerzo mecánico y predominación hidrológica la vegetación en los taludes no solo optimización la estética del paisaje sino además perjudica de manera positiva el equilibrio del material de las pendientes favoreciendo el decrecimiento de la humedad del suelo debido a su propio consumo de agua y evapotranspiración y siendo de esta forma conveniente para temporadas lluviosas. Todos los días se usan más procedimientos involucrados con la vegetación para el control de la erosión de taludes. Uno de ellos es la revegetación, que ayuda a mantener el control de la erosión y ayuda a mejorar los componentes de estabilidad. La predominación de la vegetación es una relación compleja entre componentes hidrológicos y mecánicos, por lo cual se debería prestar particular atención a su diseño (Sandoval, 2018).

7.1.2 Factores determinantes del uso de vegetación en el talud

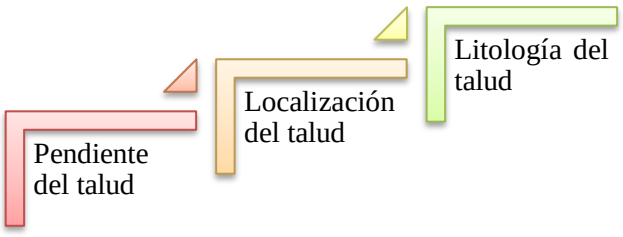


Ilustración 46: factores determinantes del uso de vegetación en el talud

Fuente: (Sandoval, 2018)

7.1.3 Método de revegetación (uso de vegetación en el talud)

Cada vez más se aplican procedimientos involucrados con la utilización de vegetación para estabilizar taludes. La revegetación, que ayuda a mantener el control de la erosión e incrementa la estabilidad del talud. El pasto se convirtió en la primordial vegetación usada en la reposición de laderas (Sandoval, 2018).

7.2 Vetiver (Chrysopogon zizanioides)

Es una planta perenne que se encuentra en los trópicos y es una hierba de la subfamilia Panicoindae de la familia Androponeae. Ha demostrado ser una opción ideal para la conservación del suelo, el agua y en la humedad del suelo. Crece en grandes macollos a partir de una masa radicular muy ramificada y esponjosa, entra en el suelo de forma vertical hasta 3 m en un año, pudiendo alcanzar 5 m en condiciones tropicales. Sus tallos erguidos y rígidos en forma recta alcanzan una altura de 0.5 a 1.5 m y hasta 3 m en condiciones favorables. Las hojas son rígidas con 75 cm de largo y 8 mm de ancho. Las raíces son tolerantes a cualquier variación climática como sequia o inundación. El vetiver puede resistir temperaturas de – 9°C a 55ºC y precipitaciones medias anuales entre 300 mm a 6000 mm (Bedolla, 2015).



Fotografía 20:Vetiver

Fuente: (Bedolla, 2015)

7.2.1 Sistema vetiver (SV)

El sistema Vetiver se fundamenta en la utilización de pasto vetiver, que se creó por el Banco Mundial para la conservación del suelo y el agua en la India en la década de 1980. Además de esta aplicación tan fundamental en tierras agrícolas, la averiguación científica desarrollada en los últimos 15 años demostró precisamente que el Vetiver tiene aplicaciones muchísimo más amplias. Las aplicaciones recientes integran la conservación del suelo y el agua en tierras agrícolas, estabilización de pendientes empinadas, rehabilitación de minas, tierras contaminadas y aguas residuales (Lorch, 2014).

7.2.2 Origen del Vetiver

Este pasto fue introducido a Fiji desde la India a finales de 1800 como material utilizado para los tejados de las casas. La palabra Vetiver procede de la palabra tamil que significa raíz que se desentierra, el epíteto zizanioides fue dado por

Linneo en 1771 y significa por la orilla del río debido a uso común en los bordes para su protección (Bedolla, 2015).

7.2.3 *Usos y aplicaciones del Vetiver*



Ilustración 47: usos del vetiver

Fuente: (Arosemena, 2018)

7.2.4 *Beneficios del Vetiver*

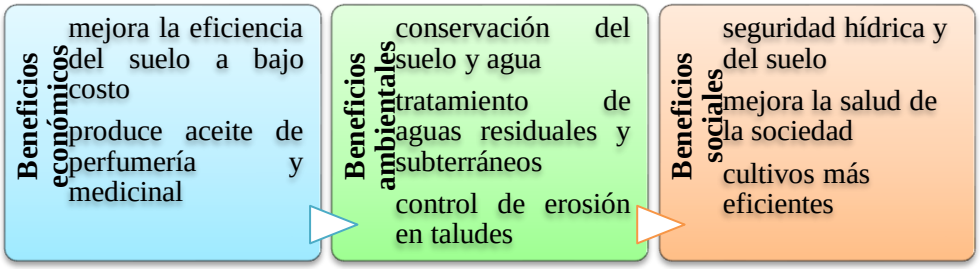


Ilustración 48:beneficios del Vetiver

Fuente: (Gnansounou, 2017)

7.2.5 *Características del Vetiver*

Las características que se describen a continuación están respaldadas por observaciones de diferentes partes del mundo:

- Las plantas forman rápidamente cercas gruesas y permanentes.
- Tiene un fuerte sistema de raíces fibrosas que pueden penetrar y fijar el suelo a una profundidad de 4 m y resistir los efectos de túneles y grietas.
- Los brotes pueden crecer hasta 2 m de altura.
- Puede crecer en cualquier tipo de suelo, independientemente de su fertilidad, pH o salinidad.
- Crece en suelos de arena, grava e incluso suelos contaminados con contenido de aluminio.
- Bajo costo y larga vida.
- El vetiver es muy eficaz en suelos pobres, erosionables y fáciles de separar.
- Controla la erosión y ayuda a estabilizar pendientes.

- Reduce la escorrentía hasta en un 70%
- Tiene 75 MPa de resistencia a la tracción.
- Aumenta la resistencia al corte de tierra hasta en un 40%.
- Es tolerante a cambios climáticos extremos como inundaciones y sequias, con temperaturas que oscilan de -14°C a 55°C.
- Prospera con precipitaciones entre 300 mm a 6000 mm por año.
- Se adapta a cualquier tipo de suelo que tenga un pH entre 3 a 10,5.
- Controla la contaminación del agua porque absorbe Al, Mn, As, Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, Se, Zn, N, y P.
- Reduce CO2 en la atmosfera
- Tolerante a la sal, crece en planicies de marea junto a manglares y lecho marino.
- Evita la propagación de incendios al tener sus hojas verdes aun en sequias.
- Es intolerante a la sombra intensa (Arosemena, 2018).



Fotografía 21: Vetiver en taludes

Fuente: (Bedolla, 2015)

7.2.5.1 Características físicas y fisiológicas del vetiver

- Crece en macollas o brotes
- Sus hojas llegan a medir 75 cm de largo x 8 cm de ancho
- No produce semillas
- Raíces crecen hasta 4 m hacia abajo
- Los brotes pueden crecer hasta 2 m de altura (Arosemena, 2018).

7.2.5.2 Características del vetiver para control de erosión

- Sistema radicular profundo de alta resistencia a la tracción
- Tallos rígidos que reducen la velocidad de flujo
- Reduce la perdida de suelo más del 90%

- Reduce la escorrentía hasta en un 70%
- Tiene 75 MPa de resistencia a la tracción.
- Aumenta la resistencia al corte de tierra hasta en un 40%.
- Atrapa los sedimentos formando una terraza natural
- Disminuye velocidad de agua en el talud
- Distribuye el escurrimiento
- Formas barreras densas que pueden vivir parcial o totalmente sumergidas (Arosemena, 2018).

7.2.6 Comportamiento del Vetiver en climas fríos

Aun cuando el vetiver es una hierba tropical, puede sobrevivir y prosperar en condiciones frías. Indagaciones actuales mostraron que 25°C era la temperatura óptima del suelo para el aumento de las raíces, pero las raíces de vetiver continuaron creciendo a 13°C, el incremento de las raíces continuó a una tasa de 12.6 cm/día (Truong, 2015).

Ya que nuestro Vetiver es cultivado en taludes modelados en Quito a 2800 msnm y con temperaturas bajas características del invierno entre 9°C a 18°C, con una precipitación máxima de 372.9 mm, en el mes de abril, debemos tomar en cuenta y comprobar su comportamiento frente a estas condiciones climáticas.

7.2.7 Rango de adaptabilidad del vetiver

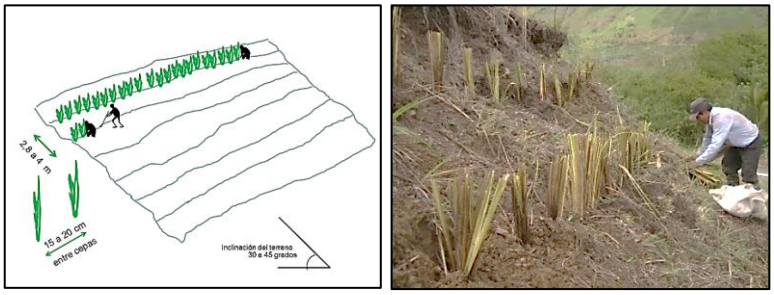
Tabla 40: valores de adaptabilidad del vetiver

Fuente: (Truong, 2015)

condiciones características	Valores
acidez (pH)	3.3 - 9.5
fertilizante (kg/ha)	299
arsénico (mgkg-1)	100 - 250
cadmio (mgkg-1)	20
cobre (mgkg-1)	35 - 50
níquel (mgkg-1)	200 - 600
mercurio (mgkg-1)	50 - 100
selenio (mgkg-1)	> 6
zinc (mgkg-1)	> 750

7.2.8 Cultivo de Vetiver

El cultivo de Vetiver puede hacerse en cualquier época del año con la humedad del suelo adecuado y con un riego suplementario. El vetiver es intolerante a la sombra en su primer año de siembra (Creighton, 2014). El Vetiver se siembra en líneas. El cálculo para conocer la cantidad de plantas se hace tomando en cuenta la inclinación del terreno y el tipo de suelo. Cuando el terreno es muy inclinado (30° a 45°) se sembrará el Vetiver con una separación entre líneas de cultivo de 2.50 m hasta 2.80 m. Se recomienda plantar de 8 a 10 cepas individuales por metro. Las cepas se pueden cultivar más separadas, pero podría demorar más tiempo para formar una barrera bien tupida. Las cepas de vetiver deben tener una separación de 15 cm a 20 cm en cada línea de cultivo (Sabbe, 2020).



Fotografía 22: cultivo de Vetiver

Fuente: (Sabbe, 2020)

Se recomienda sembrar en la temporada de invierno dónde existe mucha precipitación, el esqueje debe producir raíces nuevas por lo que está más susceptible a la deshidratación (Sabbe, 2020).

1) Si el suelo es arenoso, use fertilizante (humus o tierra fértil) para preparar el suelo, lo que asegurará una buena retención de la humedad del suelo.
2) Una vez preparada la tierra, haga agujeros en el lugar dónde se coloca el abono y luego ponga los esquejes. Se planta esquejes cada 20 cm en barreras. Si su suelo es muy arenoso, es mejor plantarlo en el fondo de los surcos para retener mejor la humedad del suelo.
3) En el agujero, la raíz puede entrar hasta los 15 cm más profundos. Luego cubra con tierra y apisone con los dedos para que la tierra esté en buen contacto con las raíces.

4) Riego adecuado durante 15 días después del trasplante y riego a intervalos más prolongados en el futuro.
5) El vetiver comienza a crecer, después de unos 2 meses, aparecerá la inflorescencia, a 30 cm de altura desde el cuello de la planta.
6) Se puede realizar una poda anual a una altura de 30 cm a 50 cm para promover el macollamiento (Paquisha, 2016).

SLOPE	VI (VERTICAL INTERVAL)
1:1 to 1.5:1	0.5 - 0.80m
>1.5:1 to 3:1	1.0m
>3:1 - 5:1	1.4 to 2.0m

Figura 96: separación del vetiver en sentido vertical según la pendiente del talud

Fuente: (Creighton, 2014)

7.2.9 Vetiver en el control de erosión

El vetiver germina a través del sedimento para formar una terraza natural. Entonces, la terraza se convierte en una característica permanente del paisaje, una barrera protectora que protegerá eficazmente el suelo durante décadas o incluso cientos de años. Cuando la escorrentía llega a la cerca de la planta, se ralentiza, se esparce y cae de la carga de sedimentos y fluye a través de las hileras de cercas; al mismo tiempo, la mayor parte del agua se filtra al suelo. La concentración de escorrentía en algunas áreas no causará pérdida de suelo ni de agua. Las hojas del vetiver retardan la filtración de agua en el suelo, el suelo desprendido se aloja detrás del tallo del vetiver y el agua cae por la pendiente con baja velocidad. Las raíces se fijan al suelo hasta 3m de profundidad. Las raíces impiden la formación de surcos (Paquisha, 2016).

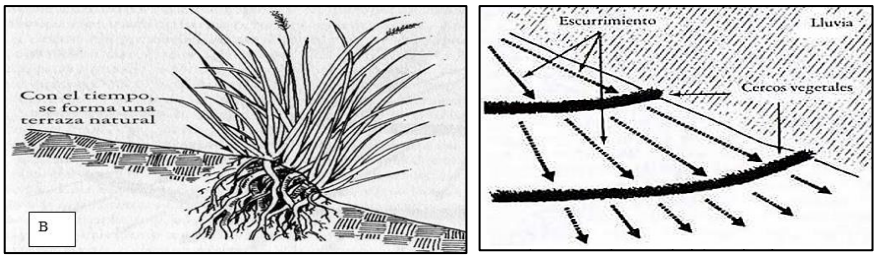


Figura 97: Vetiver en el control de erosión mínima por escorrentía

Fuente: (Paquisha, 2016)

Comparado con un suelo desnudo, el Vetiver reduce el escurrimiento y la erosión del suelo en una proporción del 73% al 98% bajo condiciones de lluvia artificial (laboratorio). El Vetiver es una herramienta que reduce la erosión hasta en un 90%, reduce y conserva la escorrentía de las lluvias hasta en un 70% (Escobar M. , 2014).

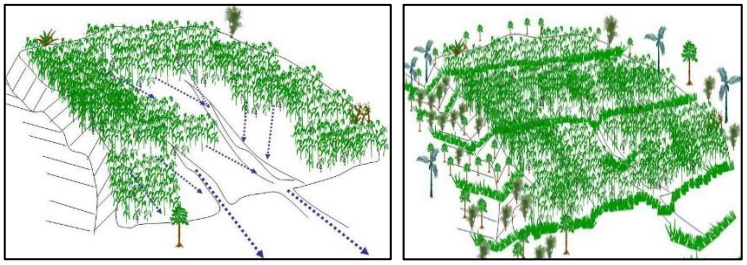


Figura 98: a) talud erosionado y b) vetiver controlando la erosión del talud

Fuente: (Sabbe, 2020)

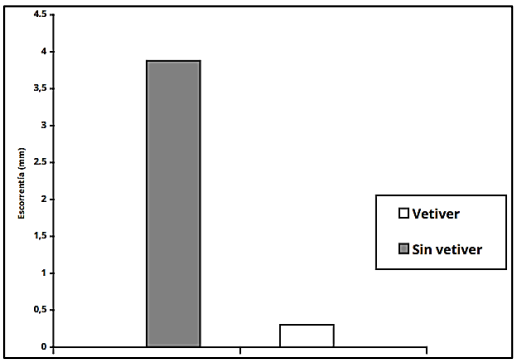


Figura 99: mm de escorrentía con y sin Vetiver

Fuente: (Jimba, 2019)

Tabla 41: perdida de suelo

Fuente: (Arosemena, 2018)

Material	Perdida de suelo (ton / hectárea)	
	15% de pendiente	26% de pendiente
Helecho	4.22	4.55
Zacate	7.58	7.62
Vetiver	1.13	4.91

7.2.10 Penetración del Vetiver

El Vetiver puede atravesar capas duras de suelo de hasta 15 cm de espesor, las raíces se extienden hasta 74 cm debajo del suelo duro. Las raíces sirven como anclaje del Vetiver. Las raíces de Vetiver tienen un grosor uniforme de 0.7 mm a 0.8 mm (Escobar M. , 2014).

7.2.11 Resistencia de la raíz de Vetiver a tensión

La resistencia a la tracción es directamente proporcional al diámetro de la raíz. La resistencia media de las raíces a tensión varía entre 40 MPa y 180 MPa para un diámetro de raíz de 0.2 mm a 2.2 mm. Se toma una resistencia media de 75 MPa para un diámetro de raíz de 0.7 mm a 0.8 mm. Si comparamos con la resistencia a tensión de árboles de madera dura vemos que la resistencia de la raíz Vetiver a la tensión es alta. Antes de llegar a la rotura, el vetiver presenta deformaciones de 9% a 23% (Arosemena, 2018).

Tabla 42: resistencia de la raíz a tensión

Fuente: (Arosemena, 2018)

Nombre común	Resistencia a la tensión (MPa)
Sauce	9 - 36
Arce	15 - 30
Cebada	15 - 31
Abeto	19 - 61
Vetiver	40 - 180

A continuación, se detallan las características del suelo de una investigación realizada a 40 brotes de vetiver cultivada en un suelo granular limo arenoso por 3 meses (Méndez, 2014).

Tabla 43: características del suelo de la investigación

Fuente: (Méndez, 2014)

Características del suelo de la investigación							
Granulometría (%)		**Límites de consistencia (%)**		**Clasificación**		**C (kg/cm2)**	**ϕ (°)**
gravas	0.57	LL	23.72	SUCS	SM	0.008	28.61
arenas	66.78	LP	9.85	AASHTO	A-2-4(0)		
limos	16.88	IP	2.88				
arcillas	15.77						

En el ensayo, se recubren las mordazas sujetadoras con corcho de 3 mm de espesor, para minimizar daños y cortes en la raíz, además de generar un mejor agarre. Se programa la máquina para un área transversal circular y a una velocidad de desplazamiento controlada. Se registran los diámetros y se llevan a la falla, el ensayo se considera válido si la raíz rompe en el tercio central de la longitud inicial. Se obtuvo que el esfuerzo máximo va de 95.39 MPa a 203.72 MPa (Méndez, 2014).

Mediante correlaciones obtenidas en la investigación se obtuvieron las siguientes formulas:

Ecuación 45: carga máxima del brote de vetiver

Fuente: (Méndez, 2014)

$$Carga\ máxima = 295.2d^{1.385}$$

Ecuación 46: esfuerzo máximo del brote de vetiver

Fuente: (Méndez, 2014)

$$Esfuerzo\ máximo = 36.84d^{-0.61}$$

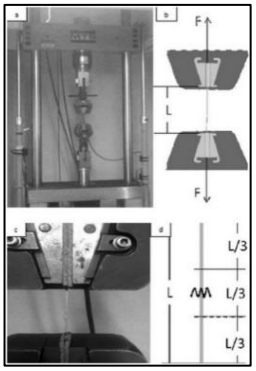
Dónde:
d: diámetro del brote de vetiver

Tabla 44: resultados del ensayo de tracción del vetiver

Fuente: (Méndez, 2014)

Resultados del ensayo de tracción						
Ensayo	**Diámetro**	**Área**	**Longitud inicial**	**ΔL**	**Carga máxima**	**Esfuerzo máximo**
	(cm)	**(cm2)**	**(cm)**	**(cm)**	**(kg)**	**(MPa)**
1	0.19	0.028	27.7	4.1	30	103.69
2	0.14	0.015	24.8	3.1	18	114.59
3	0.17	0.023	25.2	3.5	25	107.94
4	0.13	0.013	27	2.6	16	118.13
5	0.1	0.008	26.5	2.4	12	149.73
6	0.09	0.006	22	2.3	10	154.05
7	0.2	0.031	23.3	4.3	32	99.82
8	0.12	0.011	24.3	2.7	16	138.64
9	0.08	0.005	19.8	2.3	9	175.47
10	0.11	0.01	21.7	2.5	14	144.37
11	0.13	0.013	26.7	3.2	17	125.52
12	0.18	0.025	25.2	3.8	26	100.13
13	0.07	0.004	17.6	2.2	8	203.72
14	0.12	0.011	25	2.8	16	138.64
15	0.1	0.008	21	2.3	12	149.73
16	0.12	0.011	20	3.4	15	129.98
17	0.22	0.038	22.7	4.9	37	95.39
18	0.21	0.035	22	4.8	35	99.03
19	0.15	0.018	19.5	4.6	24	133.1
20	0.15	0.018	17.5	4.1	22	122
máximo	0.22	0.04	27.7	4.9	37	203.72
media	0.14	0.02	22.98	3.3	19.7	130.18
mínimo	0.07	0	17.5	2.2	8	95.39

El sistema radicular del vetiver puede ser un método de control de erosión eficaz, pues la penetración de las raíces vetiver incrementa la resistencia del suelo a la tracción. El esfuerzo máximo a tracción es directamente proporcional al diámetro de las raíces vetiver. (Méndez, 2014)



Fotografía 23: ensayo de tracción de la raíz del vetiver

Fuente: (Méndez, 2014)

7.2.12 Resistencia de la raíz de Vetiver al arranque

Sus densas raíces incrementan la resistencia al cortante por unidad de concentración de fibra (arranque del vetiver del suelo) de 6 KPa a 10 KPa por kg de raíz por m^3 suelo, en comparación con la de un árbol que tiene resistencia al cortante por unidad de concentración de fibra de 3.2 KPa a 3.7 KPa por kg de raíz por m^3 suelo (Arosemena, 2018).

7.3 Vetiver en varios países del mundo

Tabla 45: perdida de suelo y escorrentía con vetiver (datos de campo) en varios países

Fuente: (Lorch, 2014)

Países	Perdida de suelo (Ton/ha)		Escorrentía (%)	
	con Vetiver	sin Vetiver	con Vetiver	sin Vetiver
Tailandia	3.9	7.3	1.17	2.19
Venezuela	16.8	20	5.04	6
Vietnam	27.1	35	8.13	10.5
India	25	30	7.5	9

7.3.1.1 Vetiver en Latinoamérica

En Venezuela el uso de Vetiver se usa ampliamente para la protección de taludes y laderas por los diferentes consorcios que ejecutan el sistema ferroviario de ese país.

En Colombia se utiliza Vetiver en obras de contención de taludes ya que es una técnica económica, ecológica y viable para implementarla como sistema de control de erosión de taludes (Corzo, 2013).

7.3.1.2 Vetiver en Indonesia

En Indonesia se realizó una serie de experimentos en taludes entre 30° a 80°, dando como resultado un control eficaz de la erosión con pendientes de 30° a 60°. Con pendientes mayores de 60° se recomienda usar el Vetiver con geotextiles o métodos mecánicos (Escobar M. , 2014).



Fotografía 24: taludes Indonesia

Fuente: (Escobar M. , 2014)

7.3.1.3 Vetiver en India

En India, en tierras de cultivo con una pendiente del 1.7%, el vetiver disminuyo la escorrentía de 23.3% a 15.5%, la pérdida de suelo de 14.4 Ton/ha a 3.9 Ton/ha, a lo largo de un lapso de 4 años. En condiciones de parcelas pequeñas en el Instituto Mundial de Averiguación de Cultivos para los Trópicos Semiáridos, el vetiver dio un control más efectivo de la escorrentía y la pérdida de suelo que los terraplenes de piedra (Lorch, 2014).

7.3.1.4 Vetiver en Nigeria

En Nigeria, se establecieron franjas de vetiver en pendientes del 6% durante tres temporadas de crecimiento para evaluar los efectos del pasto vetiver en la pérdida de suelo y agua, la retención de humedad del suelo y el rendimiento de los cultivos. La pérdida de suelo y el agua de escorrentía al final de las parcelas de escorrentía de 20 m fueron 70% y 130% más altas en las parcelas sin vetiver que en las parcelas con vetiver. El vetiver aumento el almacenamiento de humedad del suelo de 1.9% a 50.1% a varias profundidades del suelo (Lorch, 2014).

7.4 Vetiver en Ecuador

En Ecuador se está empezando a implementar el uso de Vetiver para el control de erosión mínima inducida por escorrentía de taludes. Un ejemplo de esto es que el Ministerio de Transporte y Obras Públicas termino de sembrar plantas Vetiver en la vía E15 en el sector de Playa Bruja en la provincia de Santa Elena (Mtop, 2019).

El MTOP invirtió $169000 en el cultivo de 10500 m de vetiver en taludes del cerro de Anconcito. El vetiver asegura el tránsito de vehículos mediante la protección del talud en época invernal (Ministerio de Obras Publicas, 2020).



Fotografía 25: Vetiver en el cerro Anconcito, Santa Elena

Fuente: (Ministerio de Obras Publicas, 2020)

En la universidad técnica de Cotopaxi se realizó una investigación de la remoción de contaminantes con vetiver, en la que se determinó que la planta vetiver, remueve fosfatos en un 96% y nitratos en un 4%. El vetiver cumple la función de remoción. También se detalla el crecimiento del brote y de la raíz del pasto vetiver (Iza Alison, 2019), obteniendo lo siguiente:

Etapa	Fecha del muestreo	Periodo	Tallo	Raíz	Total	Sustrato agregado	Fecha de aplicación
Primer muestreo	30/10/19	15 días	65 cm	28.5 cm	93.5 cm	Fosfato monoamónico (14.44gr) urea (3.45gr) y Raíz 500 (50gr)	24-10-2019
Segundo muestreo	14/11/19		65.23 cm	28.8 cm	94.03 cm	N/A	N/A
Tercer muestreo	05/12/19	21 días	65.5 cm	29.0 cm	94.05 cm	Fosfato monoamónico (28.88 gr) y urea (6.9 gr)	28-11-2019
Cuarto muestreo	26/12/19		65.66 cm	29.3 cm	94.96 cm	N/A	N/A

Elaborado por: Córdova, J. & Iza, A. (2020)

Figura 100:Largo de tallo y raíz de vetiver en la investigación

Fuente: (Iza Alison, 2019)

8. CAPÍTULO VIII: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

8.1 Metodología de pre-investigación

8.1.1 Generalidades

El marco metodológico es el grupo de métodos a continuar con el objetivo de conseguir las metas de la información de manera válida y con una alta precisión. Siendo de esta forma, una composición que posibilita la recolección de datos y su siguiente validación permitiendo de esta forma una idónea interpretación de dichos en funcionalidad del problema a averiguar (Azuero, 2018).

8.1.2 Pre-investigación

Con base al objetivo de este análisis, se hizo una pre-investigación con la intención de mirar y conceptualizar la adecuada viabilidad de la investigación. Debido a la dificultad y una infinidad de variables (intensidad de lluvia, tamaño de gotas, etc.) que son casi imposibles de reproducir a escala, por esto la presente investigación se limita al comportamiento de las partículas de suelo arenoso frente a la caída de gotas de agua y el desempeño de los geomantos (GMAT VT400 y GMAT DS310) y vetiver para controlar la erosión sobre el suelo de los taludes modelados en laboratorio.

8.1.3 Enfoque de la investigación

El presente trabajo se desarrollará bajo un enfoque cuantitativo debido a que se busca revisar el desempeño de los geomantos con Vetiver en la germinación y frente a la caída de gotas de lluvia en un talud bajo simulaciones físicas.

El presente estudio tiene un enfoque cuantitativo pues se desarrolla con el objeto de analizar y comparar taludes de arena en su mayoría, modelados a 30 y 45 grados bajo precipitación induciendo a la erosión en cada modelo y estudiando la influencia de la lluvia simulada sobre cada espécimen los mismos que estarán cubiertos con material para el control de erosión y con pasto Vetiver, en otras palabras se busca examinar y probar una realidad a partir de técnicas de recolección de datos, utilizando estadísticas para probar la calidad de los materiales ensayados.

Tabla 46:matriz operacional

Fuente: creación propia

Matriz operacional		
¿Por qué la investigación?	**Objetivos**	**Hipótesis**
Bajo condiciones específicas de laboratorio determinar la eficiencia de la germinación y control de erosión al emplear vetiver y geomantos	Realizar el ensayo de germinación en taludes modelados en laboratorio con pendientes de 30° y 45°, con suelo estándar (arena), Vetiver y geomantos temporales y permanentes, para controlar la erosión mínima inducida por escorrentía, siguiendo la norma ASTM D 7101 y ASTM D 7322.	El vetiver puede ser utilizado en suelos de origen volcánico bajo condiciones específicas de compactación. Geomantos temporales presentan menor desempeño que los permanentes debido a su capacidad de retención de agua.

8.1.3.1 El enfoque cuantitativo

El presente trabajo de disertación tiene como objeto el estudio comparativo de taludes de arena con un pequeño porcentaje de limo, moldeados a 30 y 45 grados inducidos a precipitaciones con la intención de que exista erosión en cada modelo, estudiando el efecto de la lluvia simulada sobre cada espécimen, los mismos que estarán cubiertos con material para controlar erosión y el pasto Vetiver.

Se recurre a un diseño empírico de tipo experimento puro, pues es el que mejor se acomoda a estas necesidades de análisis para conocer a detalle el desempeño de los taludes modelados. El diseño empírico posibilita medir probabilísticamente la interacción causal que está establecido en medio de las variables, y estar en probabilidad de confirmar o rechazar la premisa puesto a prueba. Por su lado, el diseño de tipo experimento puro son esos que reúnen ambos requisitos para poder hacer el control y la validez interna:

1) Grupos de comparación
2) Equivalencia de los grupos

Pues se manipulan intencionalmente una o más variables independientes para examinar los efectos sobre las variables dependientes. Se asegura que es de tipo experimento puro puesto que en este diseño se integran especímenes de prueba en

conjuntos de ensayos en los que unos reciben el procedimiento empírico y el otro conjunto no, los cuales van a ser especímenes de control.

8.1.4 Identificación y operacionalización de variables

8.1.4.1 Variable dependiente: Erosión del suelo y germinación de vetiver

- **Definición conceptual:** La erosión del suelo es el proceso de desgaste de la extensión de la tierra como resultado del efecto de actividades geológicas, climáticas o por la actividad del hombre. La erosión del suelo es un fenómeno discontinuo y lento que se apoya en la movilización de desprendimientos del área (Beltrán, 2017).
- **Definición Operacional:** La variable para el control de erosión va a ser analizada por medio de resultados de la cantidad de escorrentía, infiltración y erosión de suelo. La variable para la germinación de vetiver va a ser analizada por medio de resultados de la longitud de tallo y raíz y del peso del vetiver.

8.1.4.2 Variable independiente: Precipitación y geomantos

- **Definición conceptual:** Proceso natural que modifica y desgasta las características del suelo y piedras gracias a razones geológicas exógenas como el agua, viento o actividad biótica (deforestación, creación, etc.). De esta forma, la degradación del suelo conlleva cambios adversos en características y procesos con la era. Aquellos cambios tienen la posibilidad de ser debidos a la remoción y variación del equilibrio dinámico del suelo con el medio ambiente gracias a perturbaciones naturales o antrópicas (Iturralde, 2015).
- **Definición Operacional:** La variable para la precipitación va a ser analizada por medio de información del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador, para la idónea interpretación y habituación de datos que después van a ser modeladas a escala observando de esta forma la erosión causada, deslizamientos y fallas en simulaciones. La variable para los geomantos va a ser analizada por medio de la información de Pivaltec y de los resultados obtenidos de los ensayos de geomantos de la tesis de mis compañeros Said Onofa y Rosario Villalba.

8.1.5 Población

La población de estudio estará conformada por 2 grupos de muestras de suelo compactadas a escala en laboratorio que a su vez se subdividen en cuatro muestras, las cuales serán:

- El primer grupo por ensayar serán 6 muestras moldeadas de un talud con inclinación de 45º a las cuales se les inducirá al riego por goteo controlado. En dónde 3 muestras adicionando el material GMAT VT400 y 3 muestras adicionando el material GMAT DS310.
- El segundo grupo por ensayar serán 6 muestras moldeadas de un talud con inclinación de 30º a las cuales se les inducirá al riego por goteo controlado. En dónde 3 muestras adicionando el material GMAT VT400 y 3 muestras 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 del talud gracias al material de recubrimiento junto al pasto Vetiver.

8.1.6 Muestra y muestreo

La muestra es el grupo de operaciones que se hacen para aprender el reparto de determinados letras y números en la integridad de una población, cosmos o colectivo, partiendo de la observación de una parte poblacional considerada. Se define como un subconjunto de recursos que pertenecen a aquel grupo determinado en sus propiedades al que llamamos población (Arias, 2016).

Para el presente trabajo se analizará el universo que involucra la unidad de análisis y la unidad de muestra. La unidad de análisis sugiere quiénes serán medidos, los participantes o casos a quienes en última instancia vamos a utilizar el instrumento de medición. La unidad de la muestra hace referencia al racimo por medio del cual se consigue la entrada a la unidad de estudio, pues se ha considerado como selección aleatoria los sitios de sustracción de suelo, tipo de material de recubrimiento y vegetación a usarse para después asegurar que inicialmente del ensayo cada una de las muestras conformadas y escaladas tengan la misma posibilidad de ser elegidos para integrar la muestra.

8.1.7 Técnicas de recolección de datos

La recolección de datos analizará y definirá si la investigación va a ser en base a lecturas, documentos, encuestas, u visualizaciones directas de los hechos. La técnica de recolección de datos que se usará en la presente investigación es de tipo cuantitativa y es la utilización del procedimiento de observación empírico.

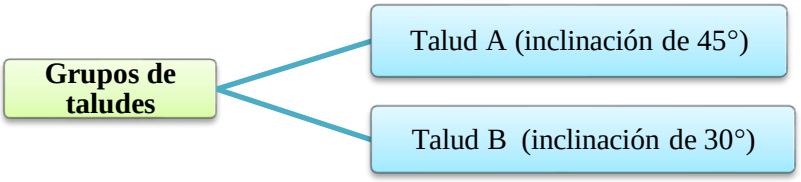


Ilustración 49:Grupos de taludes

Fuente: creación propia

8.1.8 Instrumentos de recolección de datos

El instrumento es cualquier recurso que ayude al investigador para acercarse a los fenómenos y sustraer de ellos información (Arias, 2016).

- El instrumento será la hoja de registro de datos.
- Se ha creado una hoja de registro de Excel haciendo un seguimiento continuo de la investigación para cada uno de los taludes.

Tabla 47:Ficha para cada talud

Fuente: creación propia

RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo:									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**

8.1.8.1 Técnicas de procesamientos de datos

La técnica que se usará en el procesamiento de los datos va a ser la estadística detallada que se apoya en un grupo de métodos que poseen por objeto exponer masas de datos por medios de tablas, gráficos y medidas de resumen (Arias, 2016).

Se usará un sistema de procesamiento inteligente, en el cual el proceso inteligente va a ser desarrollado por un dispositivo o programa con el propósito de comprobar la lógica de los datos introductorios, así como de los resultados.

8.1.8.2 Herramientas para el procesamiento de datos

Un instrumento es un medio físico que nos posibilita registrar o medir la información. Para el proceso de tabulación de datos y arrojo de resultados se empleó el programa Excel Office.

8.2 Metodología aplicada al sistema en estudio

8.2.1 Desarrollo de la metodología para simulaciones experimentales

8.2.1.1 Elección del material

Es una arena de la cantera de San Antonio de Pichincha, cuyas características tienen la posibilidad de ver en el capítulo II. Su elección parte del hecho de que un talud en su mayoría está formado con arena como son los del sector de San Antonio de Pichincha en la ciudad de Quito, estos taludes son propensos a procesos de erosión o a deslizamientos. Para controlar la erosión se implementa geomantos GMAT VT400 y GMAT DS310 de la empresa Pivaltec junto con el pasto Vetiver.

8.2.1.2 Estructura de confinamiento del talud

La estructura de confinamiento es conformada por tres paredes, una frontal y dos laterales, dentro de la cual es colocado el suelo conformando el talud. Las paredes se componen de bloques de hormigón de 20 cm x 20 cm x 40 cm que se unen con mortero para formar el molde del talud con las siguientes dimensiones:

- **Vista frontal:** 2.50 m de ancho x 0.80 m de alto x 0.20 m de espesor, conformado por 28 bloques de hormigón. Es una vista frontal por cada talud.

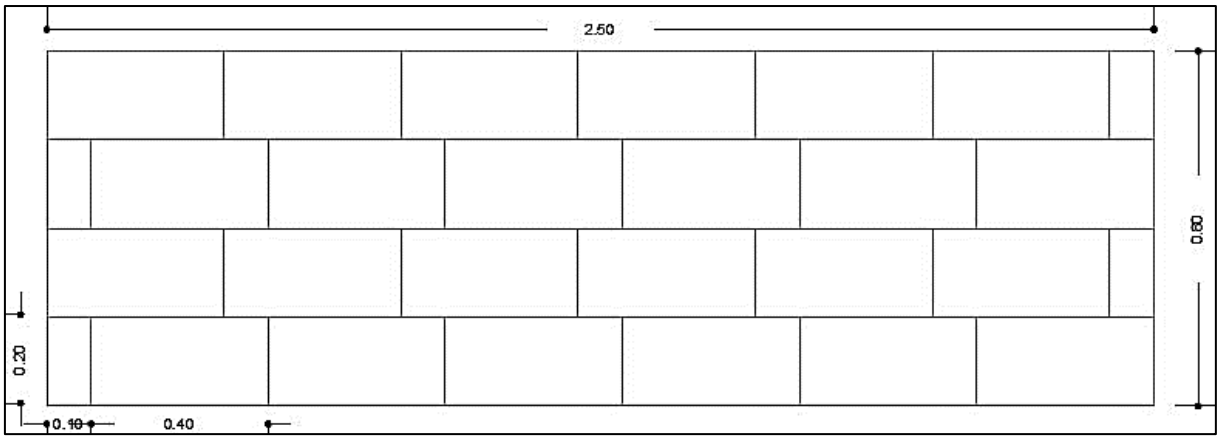


Figura 101: vista frontal del molde del suelo del talud

Fuente: creación propia

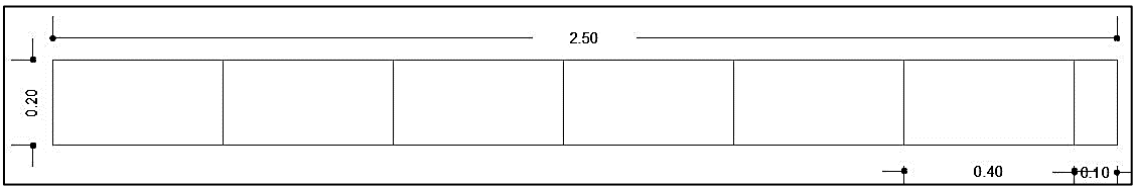


Figura 102: vista en planta de la vista frontal del molde del suelo del talud

Fuente: creación propia

- **Vista lateral:** 1.50 m de ancho x 0.80 m de alto x 0.20 m de espesor, conformado por 16 bloques de hormigón. Son dos vistas laterales por cada talud.

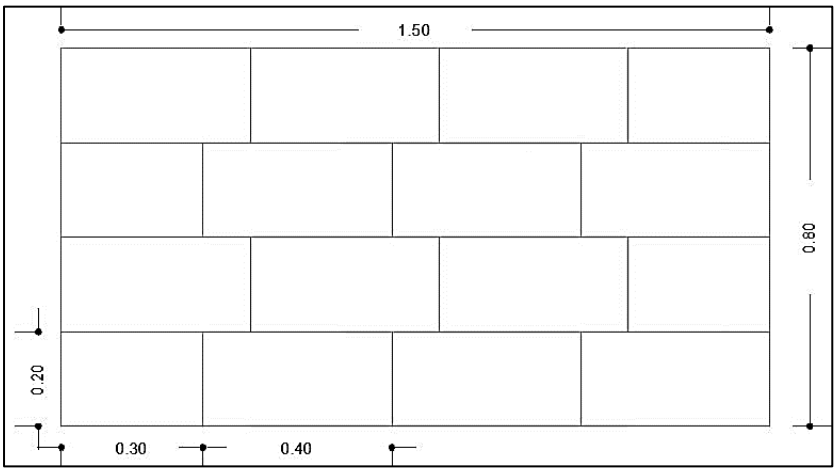


Figura 103: vista lateral del molde del suelo del talud

Fuente: creación propia

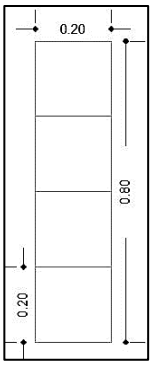


Figura 104: vista en perfil de la vista lateral del molde del suelo del talud

Fuente: creación propia

Los moldes de suelo del talud le darán el ángulo de 30° y 45° de inclinación. Los moldes tienen una altura de 20 cm desde el nivel del piso, para que el agua y sedimentos que caigan del talud a causa del ensayo de precipitación caigan en el recolector.

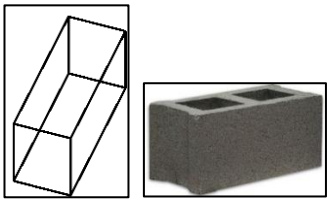


Figura 105: bloques de hormigón (20cm x 20cm x 40cm)

Fuente: creación propia

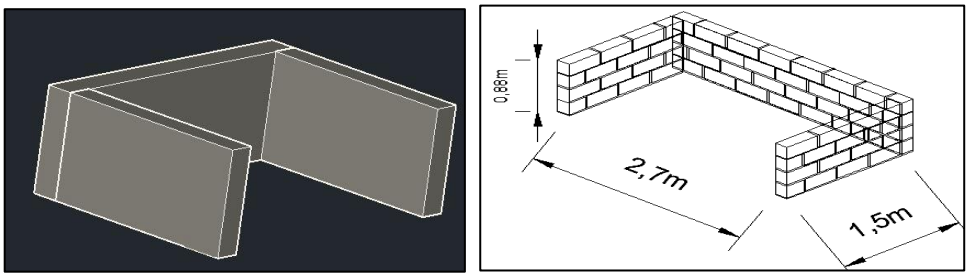


Figura 106: vista en 3D del molde de suelo del talud elaborado con bloques de hormigón

Fuente: creación propia

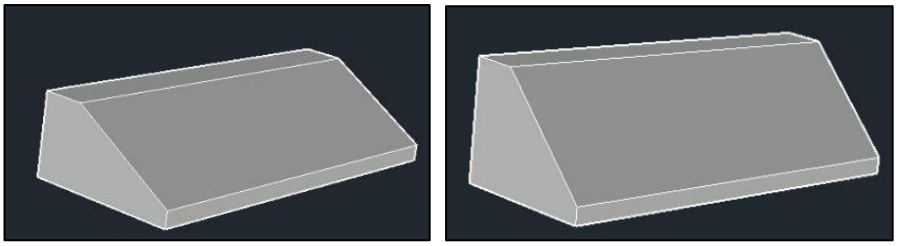


Figura 107: vista en 3D de los moldes de suelo del talud con la pendiente de 30° y 45°

Fuente: creación propia

8.2.1.3 Pendiente del talud

Se harán dos taludes, uno con pendiente de 30° y otro con pendiente de 45° de inclinación. El talud de 30° tendrá 0.50 m de alto x 2.50 m de ancho x 0.94 m de espesor. Nuestro talud de 45° tendrá 0.70 m de alto x 2.50 m de ancho x 0.85 m de espesor.

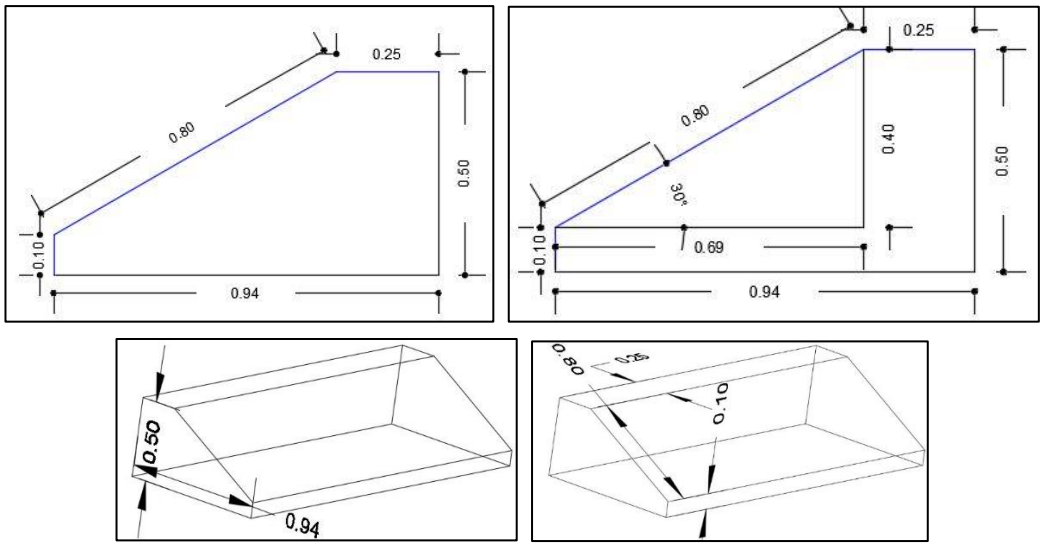


Figura 108: taludes con pendiente de 30°

Fuente: creación propia

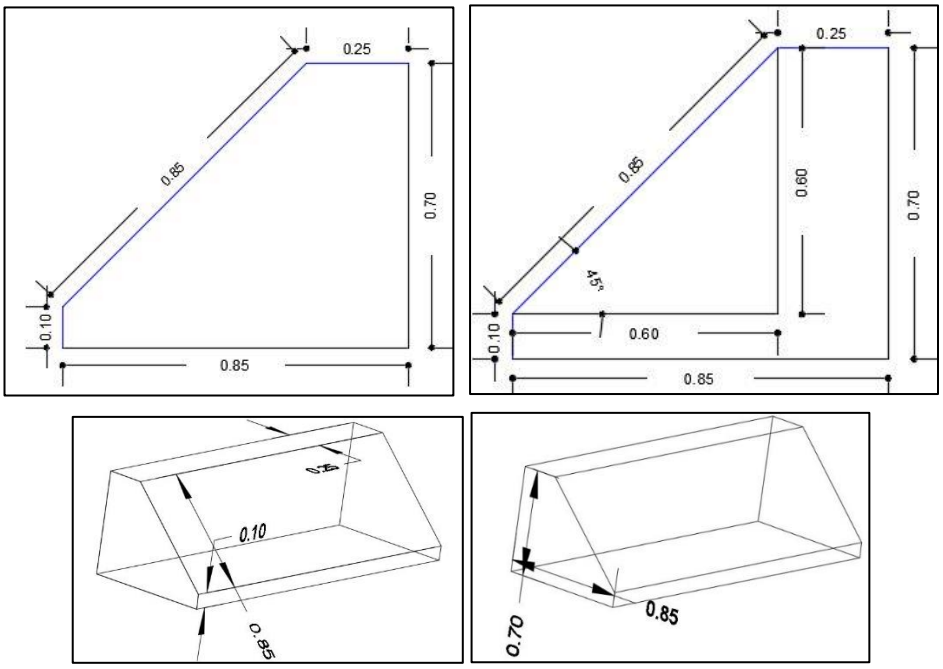


Figura 109: taludes con pendiente de 45°

Fuente: creación propia

8.2.1.4 Compactación del talud con Proctor estándar

Una vez construido los muros que funcionaran como guías delimitantes del talud modelado, se consigue 3 m^3 de la cantera de San Antonio de Pichincha para los dos taludes. Con el dato de la humedad óptima del material se estima la cantidad de agua requerida para los 3 m^3 tomando en cuenta la cantidad de agua natural del material. Con la curva de compactación, se obtiene que la densidad máxima es de 1.657 g/cm^3 y la humedad óptima es de 16.16%. Con dichos valores procedemos a obtener la porción elemental de agua con la cual humedecer a nuestra arena a fin de obtener el porcentaje de densidad máxima. Luego de ser descargado el material de la volqueta se procedió a tomar las muestras para sacar los datos de las humedades.



Fotografía 26:Descarga de material para conformación de taludes

Fuente: creación propia



Fotografía 27:muestras de suelo para el control de humedad

Fuente: creación propia



Fotografía 28:Hidratación del suelo para llegar a su densidad máxima una vez compactado.

Fuente: creación propia

Para compactar los taludes modelados se usó el sapo compactador de 5.5 HP verificando con el densímetro nuclear que los porcentajes de compactación sean

mayores al 95% según la norma del Ministerio de transporte y obras públicas del Ecuador del 2013 (MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS DEL ECUADOR, 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 110:Norma de compactación de rellenos

Fuente: (MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS DEL ECUADOR, 2013)

Se compacto el suelo cada 20 cm, pasando el sapo compactador 4 veces sobre toda la superficie de cada capa. Después de la compactación de cada capa de 20 cm se realiza la evaluación del porcentaje de compactación con el densímetro nuclear llegando a una compactación mínima del 95%, siguiendo la norma ASTM D6938.



Fotografía 29: sapo compactador usado en la compactación del suelo cada 20 cm.
Fuente: creación propia

8.2.1.5 Tallado del suelo del talud

Se procedió a tallar el suelo del talud con pala y tabla formando así la pendiente del talud de 30° y 45°. Se usaron las dimensiones de los taludes calculados.



Fotografía 30: tallado y nivelación de la muestra con un ángulo de 45º.

Fuente: creación propia



Fotografía 31:tallado y nivelación de la muestra con un ángulo de 30º.

Fuente: creación propia

8.2.1.6 Cultivo de vetiver

Se mezcla la tierra negra de cultivo con la tierra de cacao fertilizada para colocarlas en los agujeros del suelo del talud.



Fotografía 32: mezcla de la tierra fértil para el cultivo de vetiver

Fuente: creación propia

Separamos los brotes de vetiver más frescos (verdes) y más secos (amarillos), en el talud se cultivarán 3 brotes de vetiver frescos por cada agujero.



Fotografía 33:clasificación de brotes de vetiver, lado izquierdo: brotes secos y lado derecho: brotes frescos.

Fuente: creación propia

Se realiza agujeros de 10 cm de diámetro con una profundidad de 10 cm en el suelo del talud. Ya que el suelo es duro por estar compactado se procede a abrir los agujeros con una estaca metálica y un combo, luego con una pequeña pala de siembra, se forma el agujero con su diámetro y profundidad antes mencionados.



Fotografía 34:pala de siembra, estaca y combo metálicos

Fuente: (Megahierro, 2021)



Fotografía 35:agujero para cultivar el vetiver

Fuente: creación propia

Colocamos en el agujero una capa de 5 cm de tierra fértil (tierra negra de cultivo con tierra de cacao fertilizada), luego se coloca 3 brotes de vetiver, por último, se coloca 5 cm de tierra fértil para sostener el vetiver, cubriendo todo el agujero por completo.



Fotografía 36:cultivar del vetiver

Fuente: creación propia

En el talud de 30° se hizo 16 agujeros, 8 filas de agujeros en sentido vertical y 2 filas de agujeros en sentido horizontal. Los agujeros están separados entre si 20 cm en sentido horizontal y vertical.



Fotografía 37:agujeros en el talud de 30°.

Fuente: creación propia

En el talud de 45° se hizo 27 agujeros, 9 filas de agujeros en sentido vertical y 3 filas de agujeros en sentido horizontal. Los agujeros están separados entre si 20 cm en sentido horizontal y vertical.

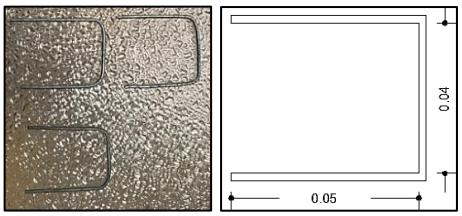


Fotografía 38: agujeros en el talud de 45°.

Fuente: creación propia

8.2.1.7 Instalación de geomantos

Serán 3 franjas de geomantos permanentes y 3 franjas de geomantos temporales alternados en cada uno de los dos taludes modelados. Para la instalación de los geomantos se utilizaron grapas de 5 cm de largo x 4 cm de ancho. Las grapas se realizaron con alambre de acero de 3 mm de diámetro.



Fotografía 39: Grapas de anclaje

Fuente: creación propia

En el talud de 30° se instalaron 2 grapas en la parte superior, 2 grapas en la parte inferior, 1 grapa al extremo izquierdo, 1 grapa al extremo derecho y 1 grapa en el centro de cada franja de geomanto. En total se usaron 37 grapas de anclaje.



Fotografía 40:geomantos y grapas en el talud de 30°

Fuente: creación propia

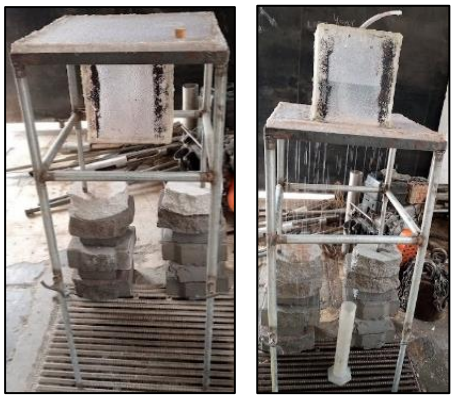
En el talud de 45° se instalaron 2 grapas en la parte superior, 2 grapas en la parte inferior, 2 grapas al extremo izquierdo, 2 grapas al extremo derecho y 2 grapas en el centro de cada franja de geomanto. En total se usaron 64 grapas de anclaje.



Fotografía 41:geomantos y grapas en el talud de 45°

Fuente: creación propia

8.2.1.8 Instalación y calibración del aparato de riego por goteo



Fotografía 42:Instalación y calibración del aparato de riego por goteo

Fuente: creación propia

8.2.2 Método de prueba y error

Con el método de compactación ya elegido se procedió a realizar grupos para los taludes modelos teniendo talud A y talud B. Se realizo 12 ensayos con el aparato de precipitación.

Tabla 48: Distribución de taludes a ensayar.

Fuente: creación propia

Talud A (45°)	MODELO AT1
	MODELO AP1
	MODELO AT2
	MODELO AP2
	MODELO AT3
	MODELO AP3
Talud B (30°)	MODELO BT1
	MODELO BP1
	MODELO BT2
	MODELO BP2
	MODELO BT3
	MODELO BP3

- **Talud A**

El grupo A conforman los taludes perfilados con ángulo de 45 grados.

- **MODELADO AT1:** Talud compactado y perfilado con ángulo de 45 grados, con geomanto temporal. Muestra número 1.
- **MODELO AP1:** Talud compactado y perfilado con ángulo de 45 grados, con geomanto permanente. Muestra número 1.
- **MODELADO AT2:** Talud compactado y perfilado con ángulo de 45 grados, con geomanto temporal. Muestra número 2.
- **MODELO AP2:** Talud compactado y perfilado con ángulo de 45 grados, con geomanto permanente. Muestra número 2.
- **MODELADO AT3:** Talud compactado y perfilado con ángulo de 45 grados, con geomanto temporal. Muestra número 3.
- **MODELO AP3:** Talud compactado y perfilado con ángulo de 45 grados, con geomanto permanente. Muestra número 3.

- **Talud B**

El grupo B conforman los taludes perfilados con ángulo de 30 grados.

- **MODELADO BT1:** Talud compactado y perfilado con ángulo de 30 grados, con geomanto temporal. Muestra número 1.
- **MODELO BP1:** Talud compactado y perfilado con ángulo de 30 grados, con geomanto permanente. Muestra número 1.
- **MODELADO BT2:** Talud compactado y perfilado con ángulo de 30 grados, con geomanto temporal. Muestra número 2.
- **MODELO BP2:** Talud compactado y perfilado con ángulo de 30 grados, con geomanto permanente. Muestra número 2.
- **MODELADO BT3:** Talud compactado y perfilado con ángulo de 30 grados, con geomanto temporal. Muestra número 3.
- **MODELO BP3:** Talud compactado y perfilado con ángulo de 30 grados, con geomanto permanente. Muestra número 3.

Se conforman 12 muestras en laboratorio las cuales serán ensayadas con riegos de agua estandarizados, teniendo dos muestras por cada tipo de recubrimiento, para cada inclinación con el objetivo de obtener la mayor cantidad de datos para su análisis.

8.2.3 Simulador de condiciones atmosféricas

Para este proyecto de disertación se toma como referencia los datos de precipitación y temperatura 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 XII.

Se usan los datos registrados de la estación IÑAQUITO M0024, ya que registra la precipitación más alta en trece años (2005 – 2018). Se puede observar que, en el año 2011, del mes de abril se tuvo la mayor precipitación en mm registrada. En el mes de abril del año 2011 cae la mayor precipitación registrada en 12 días un valor de 372.9 mm. Para esta investigación se asume que, los 12 días de riego son continuos y se calcula una intensidad de lluvia con el valor de 372.9 mm, 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. Este sistema de riego mecánico cubre el área en planta de cada uno de los modelos a ensayar por grupo, riega un área neta de 42cm x 42cm.

9. CAPÍTULO IX: ENSAYOS DE SUELOS

Para la preparación de este plan de disertación se ha optado por hacer los modelos erosivos con arena, la misma que nos proporcionara más información para su estudio comparativo. El suelo arenoso fue obtenido de una cantera ubicada en la parroquia de San Antonio de Pichincha, por medio de una ferretería.

9.1 Clasificación manual visual

Se realizó en cada muestra de suelo una identificación de suelos siguiendo la norma ASTM D 2488, se realizaron ensayos manuales y un examen visual para determinar sus características físicas.

Tabla 49: clasificación manual visual

Fuente: creación propia

Parámetro	Características
Color	Café claro
Olor	Ninguno
Humedad	Seca
Reacción al HCL	-
Estructura	Homogénea
Dureza	Desmorona
Resistencia Seca	-
Dilatancia	Rápida
Tenacidad	-
Rango de partículas	0% grava, 68% arena y 32% limo y arcilla
Máximo tamaño de partículas	Arena mediana

9.2 Peso unitario

Para determinar la densidad del suelo y el peso unitario fue utilizada la norma ASTM C29.

Tabla 50: Peso unitario

Fuente: creación propia

Peso Unitario Suelto (KN/m^3)	1.657
Peso Unitario Compactado (KN/m^3)	1.739

9.3 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. Para realizar este ensayo nos basamos en la Norma ASTM D2216.

Tabla 51: contenido de humedad

Fuente: creación propia

Peso capsula	Peso capsula + suelo húmedo	Peso capsula + suelo seco	Peso suelo húmedo	Peso suelo seco
gr	gr	gr	gr	gr
17.43	83.48	77.23	66.05	59.8
17.59	81.05	75.06	63.46	57.47

Ecuación 47: porcentaje del contenido de humedad

Fuente: (ASTMD2216, 2019)

$$w = \frac{W_w}{W_{seco}}\ x\ 100 = \frac{Peso\ humedo\ - Peso\ seco}{Peso\ seco}\ x\ 100$$

Dónde:
W_w *= peso húmedo*
W_{seco} *= peso seco*

$$W_1 = \frac{(66.05 - 59.8)}{(59.8)}\ x\ 100 = 10.452\ \%$$

$$W_2 = \frac{(63.46 - 57.47)}{(57.47)}\ x\ 100 = 10.423\ \%$$

$$w = \frac{10.45 + 10.42}{2} = 10.437\ \%$$

9.4 Granulometría

Para determinar los porcentajes de los diferentes 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 D6913.

Tabla 52:granulometría

Fuente: creación propia

Tamiz N°	diámetro	peso retenido acumulado	porcentaje retenido	porcentaje que pasa
	mm	gr	%	%
10	2.000	0.80	0.62	99.38
40	0.425	40.33	31.18	68.82
200	0.075	88.22	68.20	31.80

peso suelo húmedo	peso suelo seco
gr	gr
139.78	129.34

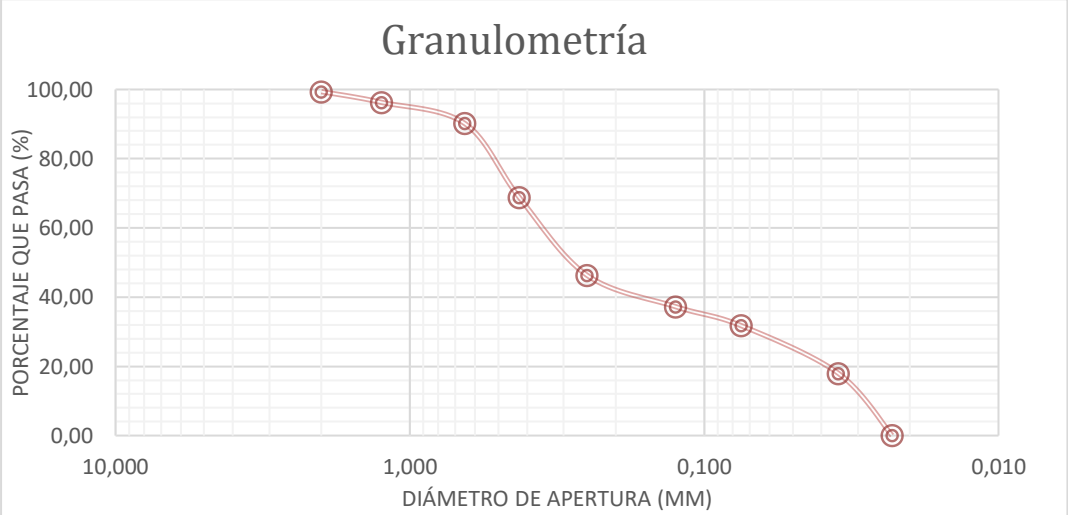


Ilustración 50: Curva granulométrica

Fuente: creación propia

Tabla 53: análisis granulométrico

Fuente: creación propia

Análisis Granulométrico	
% Grava:	0
% Arena:	76
% Finos:	24
Clasificación SUCS:	SM
Nombre:	Arena limosa

arena gruesa (%)	16
arena media (%)	40
arena fina (%)	20
limo y arcilla (%)	24

9.5 Compactación estándar

Este método permite determinar la relación entre el contenido de humedad y peso unitario seco del suelo, para el Proctor Estándar se debe colocar 3 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 44.48 N dejando caer un martillo libremente desde una altura de 30.5 cm, produciendo un esfuerzo de compactación de 600 KN m/m^3. 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 D6938 (ASTMD6938, 2000).

Tabla 54:compactación estándar

Fuente: creación propia

N° prueba	**1**		**2**		**3**		**4**		**5**	
peso molde + suelo húmedo (gr)	5.731		5.850		5.956		5.974		5.986	
peso capsula (gr)	17.89	17.42	18.30	16.35	16.91	17.07	18.03	17.60	17.74	17.07
Peso capsula + suelo húmedo (gr)	80.14	83.33	79.64	74.91	82.68	82.57	95.91	88.27	131.21	130.26
Peso capsula + suelo seco (gr)	74.78	77.21	72.58	68.22	73.53	73.45	83.69	77.18	109.99	109.43
contenido de humedad (%)	9.42		13.01		16.16		18.61		23.00	

peso molde (gr)	4.149
volumen molde (cm3)	0.939

densidad húmeda (gr/cm^3)	1.685	1.812	1.924	1.944	1.956
densidad seca (gr/cm^3)	1.540	1.603	1.657	1.639	1.590

Ecuación 48: densidad húmeda

Fuente: (ASTMD6938, 2000)

$$\gamma_m = \frac{M_t - M_{md}}{V}$$

Dónde:
M_t *= peso molde + suelo húmedo*
M_{md} *= peso molde*
V = volumen de molde

$$\gamma_{m1} = \frac{5.731 - 4.149}{0.939} = 1.685\ gr/cm^3$$
$$\gamma_{m2} = \frac{5.850 - 4.149}{0.939} = 1.812\ gr/cm^3$$
$$\gamma_{m3} = \frac{5.956 - 4.149}{0.939} = 1.924\ gr/cm^3$$
$$\gamma_{m4} = \frac{5.974 - 4.149}{0.939} = 1.944\ gr/cm^3$$
$$\gamma_{m5} = \frac{5.986 - 4.149}{0.939} = 1.956\ \frac{gr}{cm^3}$$

Ecuación 49:densidad seca

Fuente: (ASTMD6938, 2000)

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1 + \frac{w}{100}}$$

Dónde:
γ_m *= densidad húmeda*
w = contenido de humedad

$$\gamma_{d1} = \frac{1.685}{1 + \frac{9.42}{100}} = 1.540\ gr/cm^3$$

$$\gamma_{d2} = \frac{1.812}{1 + \frac{13.01}{100}} = 1.603\ gr/cm^3$$

$$\gamma_{d3} = \frac{1.924}{1 + \frac{16.16}{100}} = 1.657\ gr/cm^3$$

$$\gamma_{d4} = \frac{1.944}{1 + \frac{18.61}{100}} = 1.639\ gr/cm^3$$

$$\gamma_{d5} = \frac{1.956}{1 + \frac{23}{100}} = 1.590\ gr/cm^3$$



Ilustración 51:curva de compactación

Fuente: creación propia

Tabla 55:densidad máxima y humedad óptima

Fuente: creación propia

Densidad máxima (gr/cm3)	1.657
Humedad óptima (%)	16.16

Datos:

$\gamma_{d3} = \gamma_{max} = 1.657\ gr/cm^3$
$W_{opt} = 16.16\%$
$V_{capa} = 255\ cm\ x\ 125\ cm\ x\ 15\ cm = 478125\ cm^3$
$W_{volqueta} = 10.437\%$

Ecuación 50: densidad húmeda para el talud modelado

Fuente: (ASTMD6938, 2000)

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

$$\gamma_{húmeda} = 1.657\left(1 + \frac{10.437}{100}\right)$$
$$\gamma_{húmeda} = 1.925\ gr/cm^3$$

Ecuación 51:masa húmeda para el talud modelado

Fuente: (ASTMD6938, 2000)

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

$$M_{húmeda} = 1.925\ x\ 478125$$
$$M_{húmeda} = 920.281\ kg$$

Ecuación 52: masa seca para el talud modelado

Fuente: (ASTMD6938, 2000)

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

$$M_{seca} = \frac{920.281}{1 + \frac{16.16}{100}}$$
$$M_{seca} = 792.253\ kg$$

Ecuación 53:masa de una capa para el talud modelado

Fuente: (ASTMD6938, 2000)

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

$$M_{capa} = 792.253\left(1 + \frac{10.437}{100}\right)$$
$$M_{capa} = 874.941\ kg$$

Ecuación 54:masa de agua para el talud modelado

Fuente: (ASTMD6938, 2000)

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

$$M_{agua} = \frac{(16.16 - 10.437)x\ 874.941}{100 + 10.437}$$

$$M_{agua} = 45.341\ kg$$

$$1000\ kg\ -1\ m^3$$
$$874.941\ kg\ -x$$
$$x = 0{,}87\ m^3\ de\ agua$$

Para los dos taludes se usará 1.86 m^3 de suelo, para compactar el suelo y que llegue a su contenido de humedad optimo se necesitará 3.38 m^3 de agua.

$$0{,}87\ m^3\ -0{,}478\ m^3$$
$$x\ -1.86\ m^3$$
$$x = 3.38\ m^3\ de\ agua$$

Para el talud de 45° con un volumen de 1.03 m^3 de suelo, para compactar el suelo y que llegue a su contenido de humedad optimo se necesitará 1.87 m^3 de agua.

$$0{,}87\ m^3\ -0{,}478\ m^3$$
$$x\ -1.03\ m^3$$
$$x = 1.87\ m^3\ de\ agua$$

Para el talud de 30° con un volumen de 0.83 m^3 de suelo, para compactar el suelo y que llegue a su contenido de humedad optimo se necesitará 1.51 m^3 de agua.

$$0{,}87\ m^3\ -0{,}478\ m^3$$
$$x\ -0.83\ m^3$$
$$x = 1.51\ m^3\ de\ agua$$

9.6 Ensayo de suelo estándar

9.6.1 Ensayo ASTM D 5268

Por medio de los rangos de valores establecidos en la norma ASTM D 5268 que define a un suelo como suelo estándar apto para usar en el ensayo ASTM D 7322, verificamos con los resultados obtenidos del ensayo de contenido de humedad (ASTM D 2216) y del ensayo de granulometría (ASTM D 2487) de nuestro suelo de la cantera de San Antonio de Pichincha.

Tabla 56: comprobación de que nuestro suelo es estándar según la norma ASTM D 5268

Fuente: creación propia

Propiedad	capa superficial de suelo (ASTM D 5268)	suelo ensayado
contenido de humedad	10 - 20%	10.44%
arena: material que pasa en un tamiz de 2 mm (N° 10) y retenido en un tamiz de 0.075 mm (N° 200)	20 - 70%	68%
finos: material que pasa en un tamiz de 0.075 mm (N° 200)	30 - 70%	32%

Vemos que nuestro suelo cumple con los parámetros de contenido de humedad y granulometría, por lo tanto, nuestro suelo es un suelo estándar y podemos realizar el ensayo de germinación siguiendo la norma ASTM D 7322.

9.6.2 Ensayo ASTM D 6459

Por medio de los rangos de valores establecidos en la norma ASTM D 6459 que define a un suelo como suelo estándar apto para usar en el ensayo ASTM D 7101, verificamos con los resultados obtenidos del ensayo de granulometría (ASTM D 2487) de nuestro suelo de la cantera de San Antonio de Pichincha.

Tabla 57: comprobación de que nuestro suelo es estándar según la norma ASTM D 6459

Fuente: creación propia

Propiedad (Arena – ASTM D 6459)	suelo ensayado
25 > D100 > 3	3
4 > D85 > 0.8	1.71
0.9 > D50 > 0.2	0.3

Vemos que nuestro suelo cumple con los parámetros de granulometría, por lo tanto, nuestro suelo es un suelo estándar y podemos realizar el ensayo de precipitación siguiendo la norma ASTM D 7101.

10. CAPÍTULO X: ENSAYOS DE GEOMANTOS

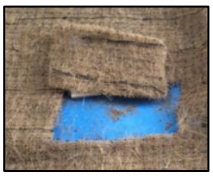
En la presente tesis se usará geomantos de la empresa Pivaltec, GMAT VT400 (temporal) y GMAT DS310 (permanente). A continuación, resumiré los resultados obtenidos de los ensayos de geomantos que realizaron Said Onofa y Rosario Villalba (Villalba, 2021), los cuales fueron:

- El ensayo de tracción y elongación a la rotura de geomantos (ASTMD6818, 2021).
- El ensayo del Método de prueba estándar para la medición de la masa por unidad de área de las mantas de control de la erosión (ASTMD6475, 2017).

10.1 Tracción y elongación a la rotura (ASTM D6818)

Este ensayo realiza la prueba de tiras para extraer las propiedades de tracción de los mantos de control de la erosión. Este ensayo es una prueba de aceptación de los geomantos que se comercializan (ASTMD6818, 2021).

10.1.1 Ensayo de tracción y elongación a la rotura del geomanto temporal (GMAT VT400)



Fotografía 43:selección de especímenes de geomanto temporal

Fuente: (Villalba, 2021)



Fotografía 44:ensayo de tracción y elongación a la rotura del geomanto temporal

Fuente: (Villalba, 2021)

10.1.1.1 Sentido longitudinal

Tabla 58: Fuerza deformación – muestra 1 longitudinal

Fuente: (Villalba, 2021)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
412	11,8

Tabla 59:Fuerza deformación – muestra 2 longitudinal

Fuente: (Villalba, 2021)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
363	10,3

Tabla 60:Fuerza deformación – muestra 3 longitudinal

Fuente: (Villalba, 2021)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
335	10,9

Tabla 61:Fuerza deformación – muestra 4 longitudinal

Fuente: (Villalba, 2021)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
338	14,8

Tabla 62:Fuerza deformación – muestra 5 longitudinal

Fuente: (Villalba, 2021)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
281	12

De los ensayos realizados se pudieron obtener los siguientes datos:

- **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 (ASTM D6818, 2002).

Tabla 63: Fuerza de rotura por unidad de ancho

Fuente: (Villalba, 2021)

Muestra	Fuerza Máxima (N)	Deformación (mm)
1	412	11,8
2	363	10,3
3	335	10,9
4	338	14,8
5	281	12

$$Fuerza\ Promedio\ Longitudinal = \frac{412+363+335+338+281}{5} = 345{,}8\ N = 0{,}3458\ kN$$

$$Ancho\ de\ la\ tira = 0{,}1\ m$$

$$Resistencia\ a\ la\ tensión = 3{,}458\ kN/m = 4\ KN/m$$

La resistencia a la tracción del GMAT-VT400 cumple con la resistencia indicada en la ficha técnica de Pivaltec.

Tabla 64:comprobación de resistencia a la tracción del GMAT VT400

Fuente: creación propia

Propiedad	Norma ASTM	Unidad	Valor	geomanto ensayado
resistencia a la tracción	ASTM D 6818	KN/m	4.12	4

10.1.1.2 Sentido transversal

Tabla 65:Fuerza deformación – muestra 1 transversal

Fuente: (Villalba, 2021)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
246	15,7

Tabla 66:Fuerza deformación – muestra 2 transversal

Fuente: (Villalba, 2021)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
288	31,3

Tabla 67:Fuerza deformación – muestra 3 transversal

Fuente: (Villalba, 2021)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
304	26,6

Tabla 68:Fuerza deformación – muestra 4 transversal

Fuente: (Villalba, 2021)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
308	34,3

Tabla 69:Fuerza deformación – muestra 5 transversal

Fuente: (Villalba, 2021)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
293	33,1

De los ensayos realizados se pudieron obtener los siguientes datos:

- **Elongación:** Se realiza el promedio de la elongación para todos los especímenes, este valor pertenece a la máxima fuerza establecida leída de máquina de prueba (ASTM D6818, 2002).

Tabla 70:Elongación

Fuente: (Villalba, 2021)

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

$$Promedio\ de\ la\ elongación\ = \frac{15{,}7 + 31{,}3 + 26{,}6 + 34{,}3 + 33{,}1}{5} = 28{,}2\ mm$$

$$Porcentaje\ de\ elongación\ = 82{,}22\ \%$$

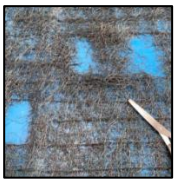
Se puede concluir que la elongación del producto GMAT-VT400 cumple con la resistencia indicada en la ficha técnica de Pivaltec.

Tabla 71:comprobación de elongación del GMAT VT400

Fuente: creación propia

Propiedad	Norma ASTM	Unidad	Valor	geomanto ensayado
elongación	ASTM D 6818	%	30	82.22

10.1.2 Ensayo de tracción y elongación a la rotura del geomanto permanente (GMAT-DS310)



Fotografía 45:toma de especímenes del geomanto permanente

Fuente: (Villalba, 2021)



Fotografía 46:ensayo de tracción y elongación a la rotura del geomanto permanente

Fuente: (Villalba, 2021)

10.1.2.1 Sentido longitudinal

Tabla 72:Fuerza deformación – muestra longitudinal 1

Fuente: (Villalba, 2021)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
291	22,8

Tabla 73:Fuerza deformación – muestra longitudinal 2

Fuente: (Villalba, 2021)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
250	14,6

Tabla 74:Fuerza deformación – muestra longitudinal 3

Fuente: (Villalba, 2021)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
259	13,1

Tabla 75:Fuerza deformación – muestra longitudinal 4

Fuente: (Villalba, 2021)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
279	12,6

Tabla 76:Fuerza deformación – muestra longitudinal 5

Fuente: (Villalba, 2021)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
268	11,7

Tabla 77:fuerza de rotura

Fuente: (Villalba, 2021)

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

$$Fuerza\ Promedio\ Longitudinal = \frac{291 + 250 + 259 + 279 + 268}{5} = 269{,}4\ N = 0{,}2694\ kN$$

$$Ancho\ de\ la\ tira = 0{,}1\ m$$

$$Resistencia\ a\ la\ tensión = 2{,}694\ kN/m = 3\ KN/m$$

Se puede concluir que la resistencia a la tracción del producto GMAT-DS310 no cumple con la resistencia indicada en la ficha técnica de Pivaltec.

Tabla 78: comprobación de resistencia a tracción de GMAT DS310

Fuente: creación propia

Propiedad	Norma ASTM	Unidad	Valor	geomanto ensayado
resistencia a la tracción	ASTM D 6818	KN/m	7	3

10.1.2.2 Sentido transversal

Tabla 79:Fuerza deformación – transversal 1

Fuente: (Villalba, 2021)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
236	20

Tabla 80:Fuerza deformación – transversal 2

Fuente: (Villalba, 2021)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
219	39,2

Tabla 81:Fuerza deformación – transversal 3

Fuente: (Villalba, 2021)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
234	19,4

Tabla 82:Fuerza deformación – transversal 4

Fuente: (Villalba, 2021)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
220	22,6

Tabla 83:Fuerza deformación – transversal 5

Fuente: (Villalba, 2021)

Fuerza (N)	Deformación (mm)
249	31,5

Tabla 84:elongación

Fuente: (Villalba, 2021)

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

$$Promedio\ de\ la\ elongación\ = \frac{20 + 39{,}2 + 19{,}4 + 22{,}6 + 31{,}5}{5} = 26{,}54\ mm$$
$$Porcentaje\ de\ elongación\ = 67{,}70\ \%$$

Se puede concluir que la elongación del producto GMAT-DS310 cumple con la resistencia indicada en la ficha técnica de Pivaltec.

Tabla 85:comprobación de elongación de GMAT DS310

Fuente: creación propia

Propiedad	Norma ASTM	Unidad	Valor	geomanto ensayado
elongación	ASTM D 6818	%	30	67.7

10.2 Ensayo de la masa por unidad de área (ASTM D6475)

Este ensayo permite realizar un control simple del material mediante una comparación de la masa por unidad de área y la masa especificada por unidad de área (ASTMD6475, 2017).

Ecuación 55:masa por unidad de área

Fuente: (ASTM D6475, 2017)

$$m = \frac{M_s \times 10^6}{A}$$

Dónde:
M_S= Masa del espécimen en gr
A = Área del espécimen mm^2

10.2.1 Ensayo de masa por unidad de área del geomanto temporal (GMAT-VT400)



Fotografía 47: masa por unidad de área del geomanto temporal

Fuente: (Villalba, 2021)

$$m = \frac{3{,}16 \times 10^6}{100\ x\ 100} = 316\ gr$$

Se puede concluir que la masa por unidad de área del producto GMAT-VT400 cumple con la resistencia indicada en la ficha técnica de Pivaltec.

Tabla 86:comprobación de masa por unidad de área de GMAT VT400

Fuente: creación propia

Propiedad	Norma ASTM	Unidad	Valor	geomanto ensayado
masa por unidad de área	ASTM D 6475	gr/m^2	240	316

10.2.2 Ensayo de masa por unidad de área del geomanto permanente (GMAT-DS310)



Fotografía 48:masa por unidad de área del geomanto permanente

Fuente: (Villalba, 2021)

$$m = \frac{3{,}87 \times 10^6}{100\ x\ 100} = 387\ gr$$

Se puede concluir que la masa por unidad de área del producto GMAT-DS310 cumple con la resistencia indicada en la ficha técnica de Pivaltec.

Tabla 87:comprobación de masa por unidad de área de GMAT DS310

Fuente: creación propia

Propiedad	Norma ASTM	Unidad	Valor	geomanto ensayado
masa por unidad de área	ASTM D 6475	gr/m^2	240	387

11. CAPÍTULO XI: ENSAYOS DE GERMINACION

Se harán taludes modelados en laboratorio con pendientes de 30° y 45° con las muestras de suelo estándar (arena). Serán 2 taludes modelados, uno por cada pendiente, en estos colocaremos 2 franjas de 0.625 m de geomanto temporal y geomanto permanente alternadas a lo largo de la superficie de cada talud modelado.

En el talud modelado con el suelo se harán pequeños agujeros del diámetro del brote de Vetiver (donde se colocará composta a una profundidad de 15 cm, luego se colocan los brotes de Vetiver (*Chrysopogon zizanioides)* junto con el suelo húmedo, y por último colocamos los geomantos con pequeños agujeros con el diámetro del brote Vetiver, hacemos este procedimiento en cada uno de los 2 taludes modelados y se procederá a regar los taludes diariamente por 2 meses seguidos, para que crezca los brotes de Vetiver en toda la superficie del talud. Se colocarán los brotes de Vetiver cada 20 cm en toda la superficie del talud.

Después de 2 meses cuando nuestro Vetiver haya crecido cubriendo la superficie del talud y alcanzando de 20 cm a 30 cm de longitud, procederemos a someter a los taludes modelados a un simulador de precipitaciones. Se procederá a regar los brotes por 2 meses seguidos. Cada 15 días se observará el aumento de la longitud de los brotes (cuantos cm ha crecido en cada agujero). Después de 2 meses se obtiene la longitud del Vetiver y la longitud de las raíces. Así sabremos con que geomanto se tiene mejor desempeño en la germinación y erosión mínima inducida por escorrentía usando los brotes Vetiver, siguiendo la norma ASTM D 7322.

Tabla 88:ensayo de germinación

Fuente: (ASTMD7322, 2017)

TIPO	NORMA	DESCRIPCIÓN
ENSAYO DE GERMINACIÓN	ASTM D 7322	Método de prueba estándar para la determinación de la capacidad del producto de control de la erosión (ECP) para estimular la germinación de brotes y el crecimiento de las plantas en condiciones de escala de laboratorio

11.1 Separación y cultivo de brotes de vetiver

Separamos los brotes de vetiver más frescos (verdes) y más secos (amarillos). Colocamos en el agujero una capa de 5 cm de tierra fértil (tierra negra de cultivo con tierra de cacao fertilizada), luego se coloca 3 brotes de vetiver frescos, por último, se coloca 5 cm de tierra fértil para sostener el vetiver, cubriendo todo el agujero por completo.

En el talud de 30° se hizo 16 agujeros, 8 filas de agujeros en sentido vertical y 2 filas de agujeros en sentido horizontal. Los agujeros están separados entre si 20 cm en sentido horizontal y vertical. En el talud de 45° se hizo 27 agujeros, 9 filas de agujeros en sentido vertical y 3 filas de agujeros en sentido horizontal. Los agujeros están separados entre si 20 cm en sentido horizontal y vertical.



Fotografía 49:vetiver cultivado en cada agujero

Fuente: creación propia

Serán 3 franjas de geomantos permanentes y 3 franjas de geomantos temporales alternados en cada uno de los dos taludes modelados. En cada franja de geomanto se recorta un cuadrado de 5 cm x 5 cm que servirá de hueco para que al colocar el geomanto, los brotes de vetiver no se estropeen.

Para la instalación de los geomantos se utilizaron grapas de 5 cm de largo x 4 cm de ancho. Las grapas se realizaron con alambre de acero de 3 mm de diámetro. En el talud de 30° se instalaron 2 grapas en la parte superior, 2 grapas en la parte inferior, 1 grapa al extremo izquierdo, 1 grapa al extremo derecho y 1 grapa en el centro de cada franja de geomanto. En total se usaron 42 grapas de anclaje. En el talud de 45° se instalaron 2 grapas en la parte superior, 2 grapas en la parte inferior, 2 grapas al extremo izquierdo, 2 grapas al extremo derecho y 2 grapas en el centro de cada franja de geomanto. En total se usaron 60 grapas de anclaje.



Fotografía 50:vetiver con geomanto

Fuente: creación propia

11.2 Riego de brotes del vetiver

Se procederá a regar los taludes pasando 1 día por 2 meses seguidos con el uso de un balde plástico y recipiente metálico. Cada 15 días se observará el aumento de la longitud de los brotes seleccionando 3 brotes aleatorios de cada franja de geomanto en cada talud. Analizaremos 6 brotes aleatorios del geomanto temporal y 6 brotes del geomanto permanente en cada uno de los taludes.

Después de 2 meses cuando nuestro Vetiver haya crecido alcanzando mínimo 40 cm de longitud, procederemos a someter a los taludes modelados a un aparato de precipitaciones. Se obtiene la longitud del Vetiver y la longitud de las raíces. Así sabremos con que geomanto se tiene mejor desempeño en la germinación y erosión mínima inducida por escorrentía usando los brotes Vetiver, siguiendo la norma ASTM D 7322.



Fotografía 51:Crecimiento del vetiver en el talud de 30°

Fuente: creación propia



Fotografía 52:Crecimiento del vetiver en el talud de 45°

Fuente: creación propia

Tabla 89:Seguimiento del crecimiento del vetiver

Fuente: creación propia

	15 días	30 días	45 días	60 días
Talud de 30°				
Talud de 45°				

Tabla 90:Datos iniciales del ensayo de germinación

Fuente: creación propia

DATOS INICIALES DEL ENSAYO DE GERMINACIÓN	
Tierra fértil:	humus con tierra de cacao
Suelo estándar:	Arena limosa
Diámetro del agujero de cultivo:	10 cm
Profundidad del agujero de cultivo:	10 cm
Distancia entre agujeros de cultivo:	20 cm
Número de brotes por agujero:	3
Recorte de geomanto para que pase el brote vetiver:	5 cm x 5 cm
Longitud inicial del brote vetiver:	30 cm
Longitud inicial de la raíz del brote vetiver:	5 cm
Días del riego del vetiver:	pasando 1 día por dos meses
Fecha de inicio de riego del vetiver:	9/9/2021
Fecha de fin de riego del vetiver:	2/12/2021

Tabla 91:Condiciones ambientales del ensayo de germinación

Fuente: creación propia

CONDICIONES AMBIENTALES DEL ENSAYO DE GERMINACIÓN	
Temperatura:	9°C a 18°C
Índice UV:	3 a 7
Humedad relativa:	69% a 86%

11.3 Toma de longitudes y pesos del vetiver

Después de haberse realizado el ensayo de precipitación en cada talud, se procedió a sacar los geomantos y los brotes de vetiver. Se procedió a medir la longitud del brote, longitud de la raíz y el peso del brote del vetiver. Para esto se analizó un brote de vetiver de cada franja de geomanto, en total se analizaron 6 brotes por talud.



Fotografía 53:Talud de 45° y 30° sin geomanto

Fuente: creación propia



Fotografía 54:Vetiver en el talud de 45° y 30° sin geomanto

Fuente: creación propia



Fotografía 55:6 muestras de vetiver

Fuente: creación propia



Fotografía 56:Toma de longitudes y peso del vetiver

Fuente: creación propia

Tabla 92:Longitudes y peso del vetiver antes y después de la simulación del talud de 30°

Fuente: creación propia

		Antes de simulación			Después de simulación		
Talud	**Muestra**	**Longitud del brote**	**Longitud de la raíz**	**Peso del brote + raíz**	**Longitud del brote**	**Longitud de la raíz**	**Peso del brote + raíz**
		(cm)	**(cm)**	**(gr)**	**(cm)**	**(cm)**	**(gr)**
30°	T1	30	5	112	83	14	221
	P1				79	10	220
	T2				65	10	219
	P2				82	13	221
	T3				68	15	219
	P3				56	14	218

La máxima longitud de brote es de 83 cm, la máxima longitud de raíz es de 15 cm y el peso máximo es de 221 gr, estos valores máximos son de los brotes del talud de 30° con geomanto temporal.

Tabla 93:Longitudes y peso del vetiver antes y después de la simulación del talud de 45°

Fuente: creación propia

Talud	Muestra	Antes de simulación			Después de simulación		
		Longitud del brote (cm)	Longitud de la raíz (cm)	Peso del brote + raíz (gr)	Longitud del brote (cm)	Longitud de la raíz (cm)	Peso del brote + raíz (gr)
45°	T1	30	5	112	75	20	224
	P1				100	20	225
	T2				85	18	224
	P2				64	12	223
	T3				60	20	223
	P3				70	12	222

La máxima longitud de brote es de 100 cm, la máxima longitud de raíz es de 20 cm y el peso máximo es de 225 gr, estos valores máximos son de los brotes del talud de 45° con geomanto permanente.

Tabla 94:Longitudes máximas y pesos máximos del vetiver después de la simulación del talud de 30° y 45°

Fuente: creación propia

Talud	Muestra	Longitud del brote (cm)	Longitud de la raíz (cm)	Peso del brote + raíz (gr)
30°	Temporal	83	15	221
	Permanente	82	14	221
45°	Temporal	85	15	219
	Permanente	100	20	225

La máxima longitud de brote es de 100 cm, la máxima longitud de raíz es de 20 cm y el peso máximo es de 225 gr, estos valores máximos son de los brotes del talud de 45° con geomanto permanente.

Tabla 95:Longitudes mínimas y pesos mínimas del vetiver después de la simulación del talud de 30° y 45°

Fuente: creación propia

Talud	Muestra	Longitud del brote (cm)	Longitud de la raíz (cm)	Peso del brote + raíz (gr)
30°	Temporal	65	10	219
	Permanente	56	10	218
45°	Temporal	60	18	223
	Permanente	64	12	222

La mínima longitud de brote es de 56 cm, la mínima longitud de raíz es de 10 cm y el peso mínimo es de 218 gr, estos valores mínimos son de los brotes del talud de 30° con geomanto permanente.

Por lo tanto, el geomanto permanente tiene mayor aportación en el desarrollo del vetiver que el geomanto temporal. También se pudo observar que alrededor del brote de vetiver crecieron otras plantas como hierba y flores, demostrando que el vetiver es una planta nodriza.



Fotografía 57:Crecimiento de vegetación alrededor del vetiver

Fuente: creación propia

12. CAPÍTULO XII: ENSAYOS DE PRECIPITACIÓN

12.1 Descripción del aparato de riego por goteo

El aparato de riego por goteo se instaló en la bodega del Laboratorio de materiales de Construcción y Suelos de la PUCE sede Quito debido a que la recolección de datos requería de un espacio cubierto donde no exista cambios climáticos u obstáculos que logren dañar la lectura de datos que nos proporción el aparato, además se contaba con la virtud de estar cerca al laboratorio y la disposición de una toma de agua que nos sirve para abastecernos de agua a lo largo del ensayo.

12.1.1 Estructura del aparato

Se usará un aparato de riego por goteo que cumple con los parámetros de la norma ASTM D 7101. El aparato está compuesto de acrílico con un volumen de 13.2 litros, con las siguientes dimensiones:

- En la parte inferior hay una regadera cuadrada de 42 cm x 42 cm x 2.5 cm, con un volumen de 4.4 litros.
- En la parte superior hay un cubo de almacenamiento de 20 cm x 20 cm x 22 cm, con un volumen de 8.8 litros.



Fotografía 58: aparato de riego por goteo

Fuente: creación propia

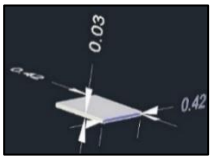


Figura 111:dimensiones de regadera cuadrado (42 cm x 42 cm x 2.5 cm)

Fuente: creación propia

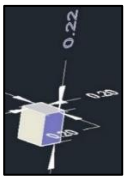


Figura 112:dimensiones del cubo de almacenamiento (20 cm x 20 cm x 22 cm)

Fuente: creación propia

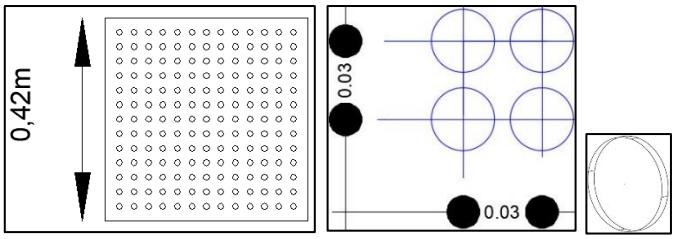


Figura 113:orificios de la regadera

Fuente: creación propia

- Está compuesto de 169 capilares con un diámetro de 3 mm, produciendo gotas de 5.5 mm con una masa de 0.056 gr.

Tabla 96:Aparato de riego por goteo

Fuente: creación propia

APARATO DE RIEGO POR GOTEO						
parte del aparato	**dimensiones**	**volumen**	**# capilares**	**diámetro de capilares**	**diámetro de gotas**	**masa de gotas**
regadera	42cm x 42cm x 2,5cm	4,4 lt	169	3 mm	5,5 mm	0,056 g
almacenamiento	20cm x 20cm x 22cm	8,8 lt				

$$\frac{2.50\ m}{6\ geomantos} = 0.416\ \frac{m}{geomanto}$$

$$Area\ de\ ensayo = 0.416\ x\ 0.416 = 0.1731\ m^2$$

- El área de ensayo es de 0.1731 m^2, se debe regar un 17.31% del área de ensayo.

$$\text{Precipitación diaria} = \frac{372.9\ mm}{12\ días} = 31.08\ \frac{mm}{día}$$

$$31.08\ \text{L} * 17.31\% = 5.38\ L$$

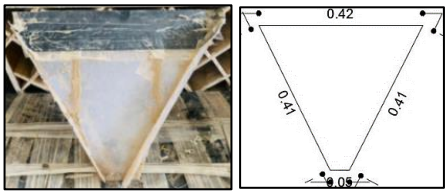
- Se procede a inducir a cada uno de nuestros geomantos a una precipitación de 5.38 litros (equivalente a 5380 mililitros o cm^3) durante 12 días (número de días que ha llovido ese valor en el mes con mayor precipitación).
- Regulador de presión interno genera una lluvia uniforme en el espacio.
- Soporte metálico ajustable para la estructura de acrílico.



Fotografía 59:Soporte metálico del aparato de riego por goteo

Fuente: creación propia

- Pala acrílica para el transporte y recolección de muestras



Fotografía 60:Pala recolectara acrílica

Fuente: creación propia

- Probeta de laboratorio de 1000 ml para recolección del agua



Fotografía 61:Probeta de 1000 ml

Fuente: creación propia

- Embudo para el abastecimiento de agua del aparato



Fotografía 62:Recolección de agua en el aparato

Fuente: creación propia

- Tamiz #200 para la recolección de sedimentos



Fotografía 63:Tamiz #200

Fuente: creación propia

- Recipiente y fundas plásticas para recolección de sedimentos



Fotografía 64: fundas para recolección de sedimentos

Fuente: creación propia

12.1.2 Procedimiento de calibración del aparato de riego por goteo

1) Instale los tubos con el perfil metálico en el suelo y encima del bloque de hormigón.
2) Instale el recolector apegado al bloque de hormigón en la parte de abajo del talud.
3) Llenar el tanque de reservorio con agua hasta un nivel de 20 cm de altura, tomar en cuenta que el reservorio este con el tapón.
4) Anote la temperatura del agua en el reservorio.
5) Ponga el cronometro en cero.
6) Quita el tapón del reservorio e inicie el cronometro.
7) Tomar el tiempo en el que toda el agua del reservorio haya caído pasando por la regadera.
8) Obtener la intensidad de la lluvia simulada.

   Repetir el procedimiento al menos unas 3 veces para calibrar el aparato de riego por goteo para así obtener valores de intensidad de lluvia similares.

12.2 Climatología de Quito en el mes del ensayo de precipitación

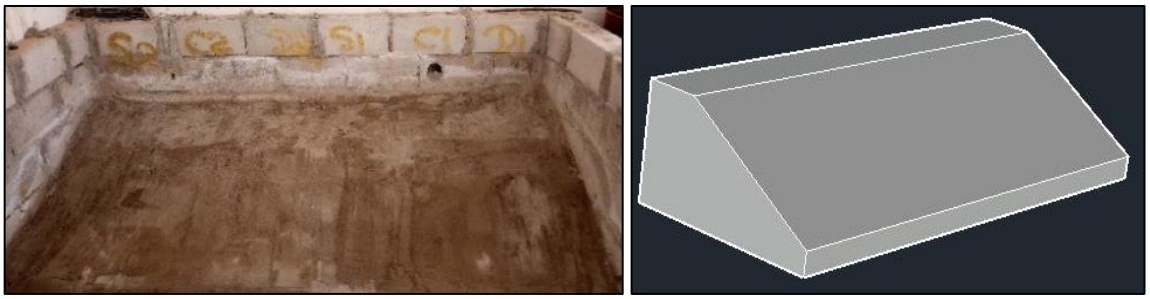
Nuestros taludes modelados son ensayados con el aparato de riego en Quito a 2800 msnm y con temperaturas bajas características del invierno entre 9°C a 18°C, con una precipitación máxima de 372.9 mm, en el mes de abril.

12.3 Descripción y características los taludes frente al ensayo de precipitación

Los taludes fueron diseñados para hacer un seguimiento sobre la incidencia de las propiedades hidrológicas y erosivas sobre el área los especímenes de prueba que fueron sometidos a simulaciones de precipitación.

12.3.1 Taludes sin recubrimiento

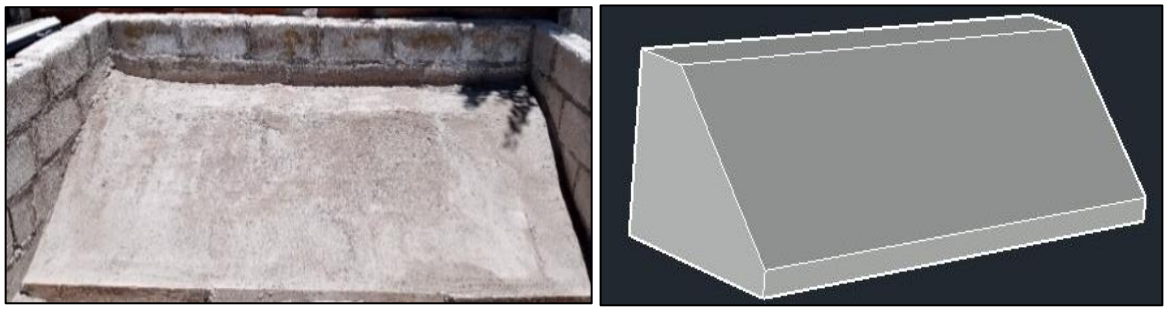
Talud de 30°



Fotografía 65:Talud de 30° sin recubrimiento

Fuente: creación propia

Talud de 45°



Fotografía 66:Talud de 45° sin recubrimiento

Fuente: creación propia

12.3.2 Taludes con vetiver

Talud de 30°



Fotografía 67:Talud de 30° con vetiver

Fuente: creación propia

Talud de 45°



Fotografía 68:Talud de 45° con vetiver

Fuente: creación propia

12.3.3 Taludes con geomantos y vetiver

Talud de 30°



Fotografía 69:Talud de 30° con geomanto y vetiver

Fuente: creación propia

Talud de 45°



Fotografía 70:Talud de 45° con geomanto y vetiver

Fuente: creación propia

12.4 Calibración del Aparato de riego por goteo

Previo a comenzar los ensayos es fundamental hacer la calibración del equipo, para que el aparato tenga un adecuado manejo de una descarga fija de lluvia.



Fotografía 71:Calibración del aparato de riego por goteo

Fuente: creación propia

Para hacer la calibración el aparato se debería ser situado en una región de prueba no es aconsejable hacerlo sobre la muestra pues esta podría ser alterada.

1. Primero se debería instalar el soporte ajustable al nivel que se necesite ensayar
2. Cerrar el tubo de aireación con el tapón y situar los equipamientos sobre el armazón
3. Los accesorios deberían estar invertido para que el tanque se complete lo suficientemente de agua para el ensayo.
4. Luego de colmar el tanque de agua situar el tapón y voltear los equipamientos a su postura original
5. Ajustar el tubo de aireación a la magnitud de lluvia solicitada.
6. Anotar el nivel del agua, empiece la simulación y comience el cronometro para luego anotar los valores marcados por el cronometro y el nivel de agua.
7. Repita las veces que sean primordiales hasta obtener los todos los datos que se

requieran hasta obtener la calibración deseada en los equipamientos. (Carreno, 2018)

12.4.1 Resultados de calibración del aparato de riego por goteo

Tabla 97: Datos y resultados de la calibración del aparato de riego por goteo

Fuente: creación propia

Calibración del simulador				
N° Prueba	tiempo	altura de probeta	intensidad	
	(min)	(ml)	(ml/min)	(mm/día)
1	3,01	75	24,92	17,94
2	3,06	175	57,19	41,18
3	3,09	225	72,82	52,43
4	3,06	100	32,68	23,53
5	2,57	100	38,91	28,02
promedio	**3**	**135**	**45,30**	**32,62**

La altura de agua del reservorio es de 13.5 cm equivalente a 5.38 litros, es la cantidad de agua que debe ir en el reservorio de agua al calibrar el aparato.



Fotografía 72:Altura de agua del reservorio

Fuente: creación propia

El tiempo promedio de la caída de agua es de 3 minutos, la altura de probeta promedio es de 135 mililitros con una intensidad promedio de 32.62 mm/día.

$$intensidad = 32.62 \frac{mm}{día}$$

Tabla 98:Valores que usaremos en el ensayo de precipitación

Fuente: creación propia

tiempo	altura de probeta	intensidad	
(min)	(ml)	(ml/min)	(mm/día)
3	130	43,17	31,08

Para cumplir con la intensidad calculada de 31.08 mm/día obtenemos 3 minutos de caída de agua y 130 ml de altura de probeta.

12.5 Instalación y simulación de lluvia con el aparato de riego por goteo en el área de prueba

- Elegir el sector de prueba que debe estar intacta
- Instalar el armazón al nivel que se ocupe
- Cerrar el tubo de aireación con el tapón y poner los equipamientos sobre el armazón
- En la parte baja del talud se instala la pala recolectora para la recolección de la escorrentía y sedimentos
- Voltear boca abajo el aparato y proveer de agua el cubo almacenador, verificar si ya está en el nivel de agua requerida y voltear boca arriba el aparato.



Fotografía 73:Instalación del aparato en el área de prueba.

Fuente: creación propia

- Ajustar el tubo de aireación a la intensidad de lluvia requerida y empezar la simulación.



Fotografía 74:instalación del recolector de sedimentos.

Fuente: creación propia

- Luego de la simulación situar el tapón del tubo de aireación para detener el agua.

- El sedimento que está en el recipiente ya está listo para ser medido y pesado:
  - Infiltración (volumen total de agua del tanque - proporción 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) se mide en la probeta de laboratorio unidades de medida en milímetros



Fotografía 75:Recolección de datos de infiltración, erosión y escorrentía.

Fuente: creación 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 coloca en el horno para obtener el peso seco en gramos y poder hacer los estudios de datos pertinentes. (Carreno, 2018)



Fotografía 76:Recolección de datos de erosión (tamizado y recolección del suelo húmedo).

Fuente: creación propia



Fotografía 77:Recolección de datos de erosión (secado del suelo húmedo).

Fuente: creación propia

12.6 Recolección de datos

Para la recolección de datos se hizo una matriz donde nos da los datos de fecha de ensayo, precipitación, magnitud, elevación de caída de la gota, energía cinética

producida, proporción de suelo erosionado, proporción de escorrentía, volumen de infiltración y la memoria fotográfica diaria del ensayo en cada espécimen.

Tabla 99: Formato de registro de datos de la simulación de precipitación

Fuente: creación propia

RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°									
Intensidad (INAMHI, abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo:									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m^2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**

12.7 Resultados obtenidos

12.7.1 Resultados de infiltración

Los valores de infiltración en cada talud se obtuvieron en 12 días de riego, estos se representan en una curva de Infiltración (ml) vs Días, se puede observar las tablas de simulaciones e infiltración acumulada en anexos.

Tabla 100:Resultados de infiltración acumulada

Fuente: creación propia

INFILTRACIÓN (ml)		
TALUD	**(GEOMANTO PERMANENTE)**	**(GEOMANTO TEMPORAL)**
30°	61743,67	61892,33
45°	60416,00	59905,33

La infiltración máxima se dio en el geomanto temporal del talud de 30° y la infiltración mínima se dio en el geomanto temporal del talud de 45°.

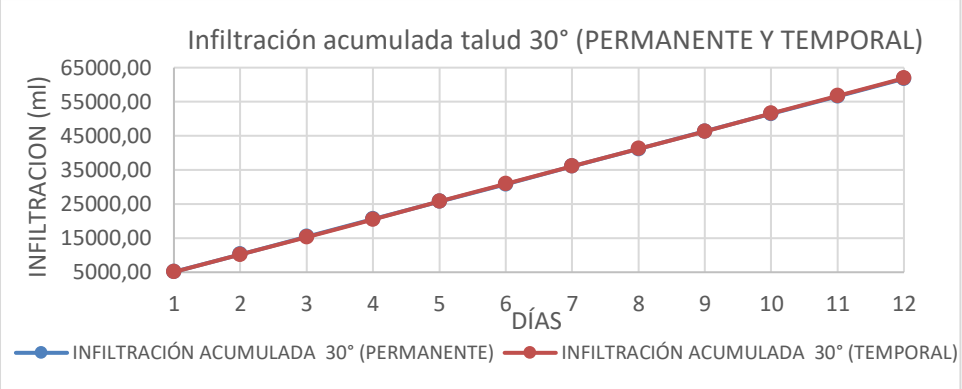


Ilustración 52:Infiltración acumulada del talud de 30° con geomanto temporal y permanente
Fuente: creación propia

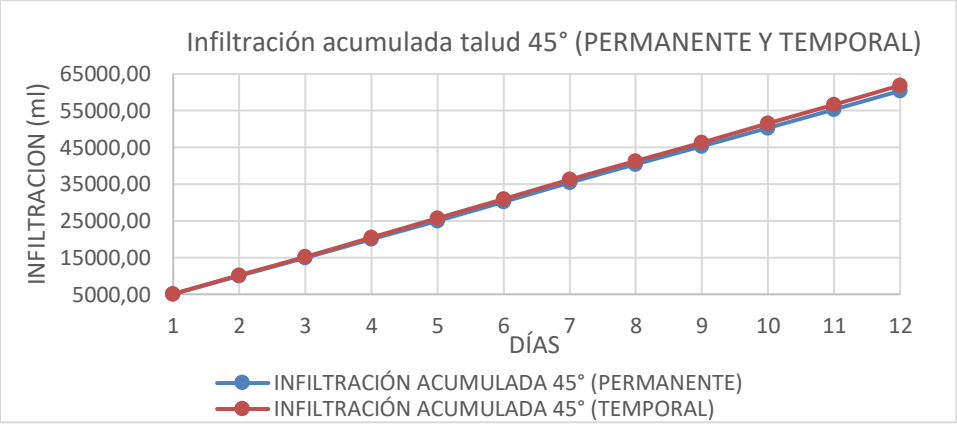


Ilustración 53:Infiltración acumulada del talud de 45° con geomanto temporal y permanente

Fuente: creación propia

Comparando los valores obtenidos en esta investigación (usando geomantos temporales y permanentes con vetiver) con los valores obtenidos de la tesis realizada por Said Onofa y Rosario Villalba (usando geomantos temporales y permanentes) (Villalba, 2021), se obtuvo lo siguiente:

Tabla 101:Resultados de infiltración acumulada (geomantos + vetiver) vs (geomantos)

Fuente: creación propia

Infiltración (ml)				
Talud	**Permanente**	**Temporal**	**Permanente + Vetiver**	**Temporal + Vetiver**
30°	48427,87	51125,73	61743,67	61892,33
45°	43535,53	49552,63	60416,00	59905,33

Podemos ver que se tiene una mayor infiltración en los taludes con geomantos + vetiver que con los taludes con geomantos.

12.7.2 Resultados de escorrentía

Los valores de escorrentía en cada talud se obtuvieron en 12 días de riego, estos se representan en una curva de Escorrentía (ml) vs Días, se puede observar las tablas de simulaciones y escorrentía acumulada en anexos.

Tabla 102:Resultados de escorrentía acumulada

Fuente: creación propia

ESCORRENTÍA (ml)		
TALUD	**(GEOMANTO PERMANENTE)**	**(GEOMANTO TEMPORAL)**
30°	5500,00	6231,67
45°	7060,00	6388,33

La escorrentía máxima se dio en el geomanto permanente del talud de 45°, mientras que la escorrentía mínima se dio en el geomanto permanente del talud de 30°.

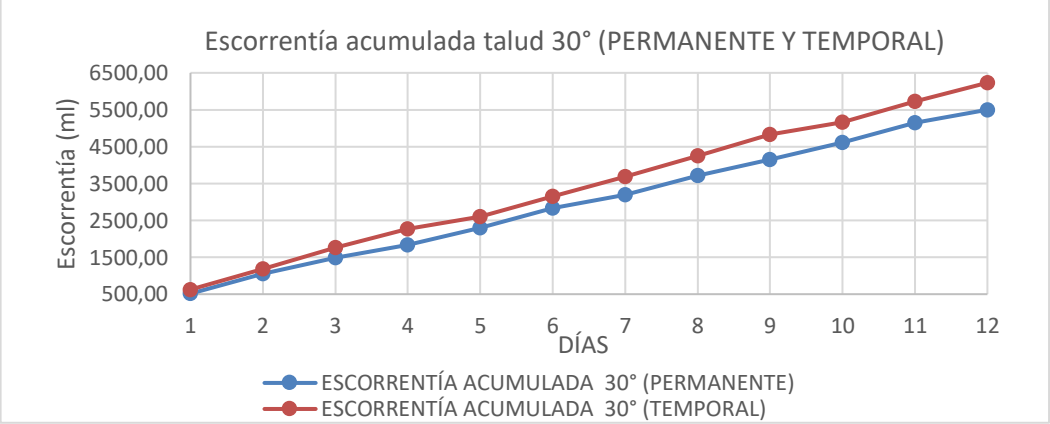


Ilustración 54:Escorrentía acumulada del talud de 30° con geomanto temporal y permanente

Fuente: creación propia

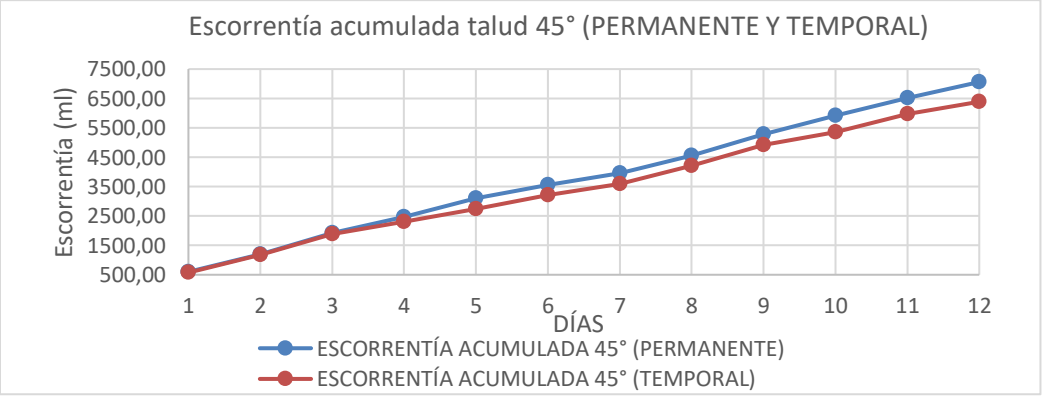


Ilustración 55:Escorrentía acumulada del talud de 45° con geomanto temporal y permanente

Fuente: creación propia

Comparando los valores obtenidos en esta investigación (usando geomantos temporales y permanentes con vetiver) con los valores obtenidos de la tesis realizada por Said Onofa y Rosario Villalba (usando geomantos temporales y permanentes) (Villalba, 2021), se obtuvo lo siguiente:

Tabla 103:Resultados de escorrentía acumulada (geomantos + vetiver) vs (geomantos)

Fuente: creación propia

Escorrentía (ml)				
Talud	**Permanente**	**Temporal**	**Permanente + Vetiver**	**Temporal + Vetiver**
30°	19168,22	14559,04	5500,00	6231,67
45°	23588,63	17075,99	7060,00	6388,33

Podemos ver que se tiene una menor escorrentía en los taludes con geomantos + vetiver que con los taludes con geomantos.

12.7.3 Resultados de erosión

Los valores de erosión en cada talud se obtuvieron en 12 días de riego, estos se representan en una curva de Erosión (gr) vs Días, se puede observar las tablas de simulaciones y erosión en anexos.

Tabla 104:Resultados de escorrentía acumulada

Fuente: creación propia

EROSIÓN (gr)		
TALUD	**(GEOMANTO PERMANENTE)**	**(GEOMANTO TEMPORAL)**
30°	467,86	308,23
45°	882,25	553,51

La erosión máxima se dio en el geomanto permanente del talud de 45° y la erosión mínima se dio en el geomanto temporal del talud de 30°.

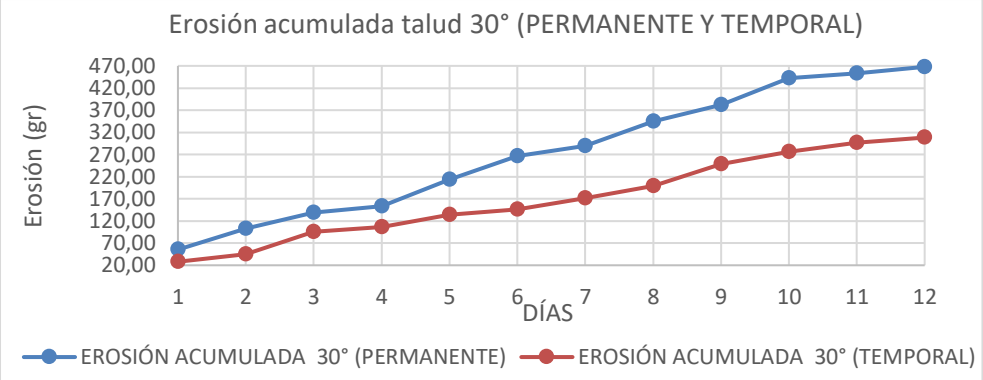


Ilustración 56:Erosión acumulada del talud de 30° con geomanto temporal y permanente

Fuente: creación propia

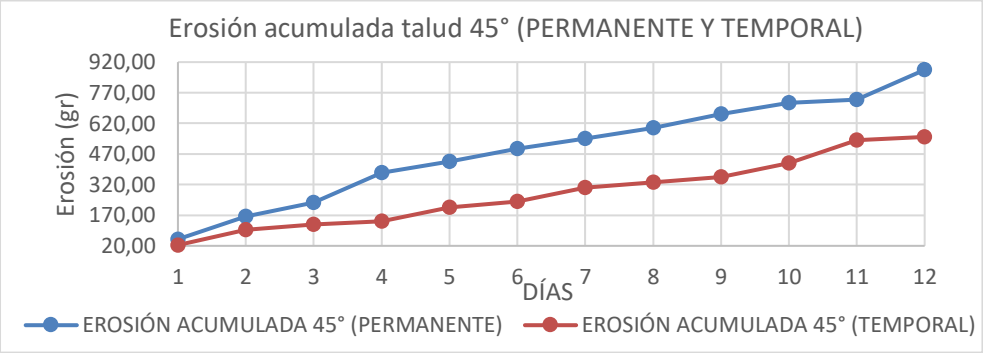


Ilustración 57:Erosión acumulada del talud de 45° con geomanto temporal y permanente

Fuente: creación propia

Comparando los valores obtenidos en esta investigación (usando geomantos temporales y permanentes con vetiver) con los valores obtenidos de la tesis realizada por Said Onofa y Rosario Villalba (usando geomantos temporales y permanentes) (Villalba, 2021), se obtuvo lo siguiente:

Tabla 105:Resultados de erosión acumulada (geomantos + vetiver) vs (geomantos)

Fuente: creación propia

Erosión (gr)				
Talud	**Permanente**	**Temporal**	**Permanente + Vetiver**	**Temporal + Vetiver**
30°	2221,15	1729,89	467,86	308,23
45°	2543,28	1870,48	882,25	553,51

Podemos ver que se tiene una menor erosión en los taludes con geomantos + vetiver que con los taludes con geomantos.

Tabla 106:Seguimiento del talud de 30° con vetiver y geomanto antes y después de la simulación de lluvia

Fuente: creación propia

	talud de 30°
antes de la simulación	
después de la simulación	

Tabla 107:Seguimiento del talud de 45° con vetiver y geomanto antes y después de la simulación de lluvia

Fuente: creación propia

	talud de 45°
antes de la simulación	

después de la simulación





Fotografía 78: talud de 30° después de las simulaciones

Fuente: creación propia



Fotografía 79:talud de 30° sin geomanto después de las simulaciones

Fuente: creación propia



Fotografía 80:talud de 45° después de las simulaciones

Fuente: creación propia



Fotografía 81:talud de 45° sin geomanto después de las simulaciones

Fuente: creación propia

13. Conclusiones y Recomendaciones

13.1 Conclusiones

Con la presente investigación se puede concluir que los taludes con suelo arenoso limoso con pendientes más pronunciadas pueden sufrir en mayor magnitud la perdida de suelo por erosión laminar frente a caídas de precipitaciones (por goteo) en sus superficies. Esta pérdida de suelo se va acumulando, creando así surcos y cárcavas que pueden desencadenar en fallas y desestabilización del talud.

13.1.1 Erosión vs días del geomanto permanente (GMAT DS310) con vetiver

Analizando las gráficas (Erosión vs Días) del geomanto permanente (GMAT DS310) con vetiver, obtenemos que el talud de 45° tuvo el mayor valor de erosión dando 882.25 gr, mientras que el talud de 30° tuvo el menor valor de erosión dando 467.86 gr. Por lo tanto, se concluye que el talud de 45° con geomanto permanente (GMAT DS310) con vetiver es el más susceptible a sufrir erosión frente a la caída constante de gotas de lluvia. Podemos ver que la erosión disminuyo significativamente un 85% con la implementación del geomanto permanente (GMAT DS310) con vetiver. Este geomanto tiene un óptimo funcionamiento frente al efecto de las precipitaciones simuladas por la menor proporción de suelo perdido, controlando de una manera eficaz la erosión.

Tabla 108:Erosión de los taludes de 30° y 45° con geomanto permanente (GMAT DS310) + vetiver

Fuente: creación propia

EROSIÓN (gr)	
TALUD	**(GEOMANTO PERMANENTE) + VETIVER**
30°	467,86
45°	882,25

13.1.1.1 Erosión vs días con [geomanto permanente (GMAT DS310) (Villalba, 2021)] vs con [geomanto permanente (GMAT DS310) + vetiver]

Analizando los resultados de erosión del geomanto permanente (GMAT DS310) con vetiver obtenidos en esta investigación con los de la tesis de mis compañeros (Said Onofa y Rosario Villalba (Villalba, 2021)) en los que realizaron las simulaciones, pero solo con el geomanto permanente (GMAT DS310), podemos ver que la erosión

disminuyo significativamente un 35% con la implementación de geomantos y vetiver en comparación con solo el uso del geomanto, por lo que se demuestra que la vegetación es una solución óptima en el control de erosión junto al uso de geomantos y que es más eficaz usar vegetación que solo geomanto en la protección del talud frente a la precipitación.

Tabla 109:comparación de la erosión de los taludes de 30° y 45° solo con [geomanto permanente (GMAT DS310) (Villalba, 2021)] vs con [geomanto permanente (GMAT DS310) + vetiver]

Fuente: creación propia

EROSIÓN (gr)		
Talud	**Permanente**	**Permanente + Vetiver**
30°	2221,15	467,86
45°	2543,28	882,25

13.1.2 Erosión vs días del geomanto temporal (GMAT VT400) con vetiver

Analizando las gráficas (Erosión vs Días) del geomanto temporal (GMAT VT400) con vetiver, vemos que la erosión es menor que con los taludes con franjas de geomanto permanente (GMAT DS310) con vetiver, obtenemos que el talud de 45° tuvo el mayor valor de erosión dando 553.51 gr, mientras que el talud de 30° tuvo el menor valor de erosión dando 308.23 gr. Por lo tanto, se concluye que el talud de 45° temporal (GMAT VT400) con vetiver es el más susceptible a sufrir erosión frente a la caída constante de gotas de lluvia. Podemos ver que la erosión disminuyo significativamente un 89% con la implementación del geomanto temporal (GMAT VT400) con vetiver. Este geomanto tiene un óptimo funcionamiento frente al efecto de las precipitaciones simuladas por la menor proporción de suelo perdido, controlando de una manera eficaz la erosión.

Tabla 110:Erosión de los taludes de 30° y 45° con geomanto temporal (GMAT VT400) + vetiver

Fuente: creación propia

EROSIÓN (gr)	
TALUD	**(GEOMANTO TEMPORAL) + VETIVER**
30°	308,23
45°	553,51

13.1.2.1 Erosión vs días con [geomanto temporal (GMAT VT400) (Villalba, 2021)] vs con [geomanto temporal (GMAT VT400) + vetiver]

Analizando los resultados de erosión del geomanto temporal (GMAT VT400) con vetiver obtenidos en esta investigación con los de la tesis de mis compañeros (Said Onofa y Rosario Villalba (Villalba, 2021)) en los que realizaron las simulaciones, pero solo con el geomanto temporal (GMAT VT400), podemos ver que la erosión disminuyo significativamente un 30% con la implementación de geomantos y vetiver en comparación con solo el uso del geomanto, por lo que se demuestra que la vegetación es una solución óptima en el control de erosión junto al uso de geomantos y que es más eficaz usar vegetación que solo geomanto en la protección del talud frente a la precipitación.

Tabla 111:comparación de la erosión de los taludes de 30° y 45° solo con [geomanto temporal (GMAT VT400) (Villalba, 2021)] vs con [geomanto temporal (GMAT VT400) + vetiver]

Fuente: creación propia

EROSIÓN (gr)		
Talud	**Temporal**	**Temporal + Vetiver**
30°	1729,89	308,23
45°	1870,48	553,51

13.1.2.2 Erosión vs días con geomanto temporal + vetiver [creación propia vs (Escobar M. , 2014)]

Analizando los resultados de erosión del geomanto temporal (GMAT VT400) con vetiver obtenidos en esta investigación con los de la tesis de Manuel Escobar realizada en Bogotá en el 2014 con un geomanto temporal con vetiver (Escobar M. , 2014), la erosión que se obtuvo en esta investigación es menor en un 3% en comparación a la investigación de Escobar (Escobar M. , 2014), por lo que se demuestra que la vegetación es una solución óptima en el control de erosión junto al uso de geomantos en la protección del talud frente a la precipitación tanto en Colombia como en Ecuador, ya que estos países tienen un clima muy similar.

Tabla 112:comparación de la erosión de los taludes de 30° y 45° con geomanto temporal + vetiver [creación propia vs (Escobar M. , 2014)]

Fuente: creación propia

EROSIÓN (gr)		
Talud	**Temporal + Vetiver (Escobar M. , 2014)**	**Temporal + Vetiver**
30°	320,29	308,23
45°	610,08	553,51

En un tiempo de 12 días de riego la muestra de geomanto permanente (GMAT DS310) de 45° es el más susceptible de tener erosión, gracias a la proporción de agua que no consigue ser infiltrada y se va por la escorrentía, arrastrando suelo del talud.

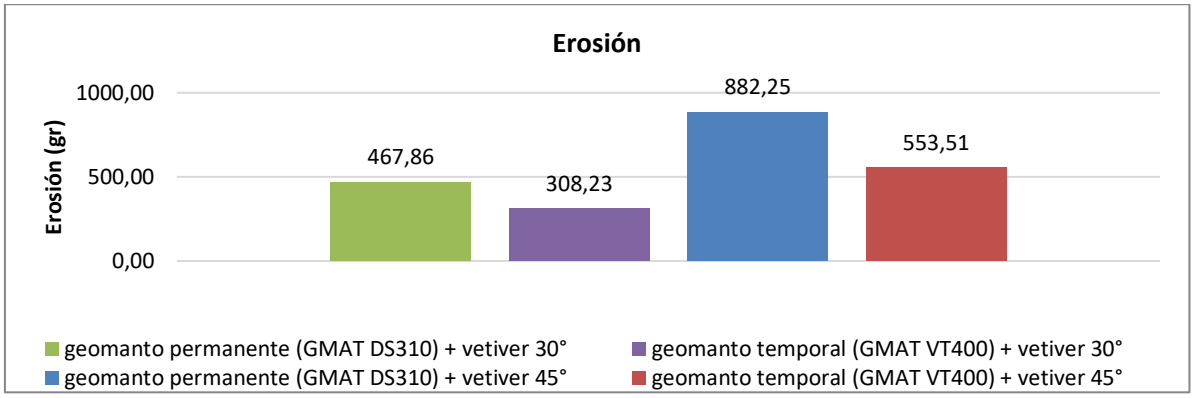


Ilustración 58:Resultados de erosión de taludes de 30° y 45°

Fuente: creación propia

13.1.3 Escorrentía vs días del geomanto permanente (GMAT DS310) con vetiver

Analizando las gráficas (Escorrentía vs Días) del geomanto permanente (GMAT DS310) con vetiver, obtenemos que el talud de 45° tuvo el mayor valor de escorrentía dando 7060 ml, mientras que el talud de 30° tuvo el menor valor de escorrentía dando 5500 ml. Por lo tanto, se concluye que el talud de 45° con geomanto permanente (GMAT DS310) con vetiver es el más susceptible a sufrir escorrentía frente a la caída constante de gotas de lluvia. Podemos ver que la escorrentía disminuyo significativamente un 65% con la implementación del geomanto permanente (GMAT DS310) con vetiver. Este geomanto tiene un óptimo funcionamiento frente al efecto de las precipitaciones simuladas por la menor proporción de suelo perdido, controlando de una manera eficaz la escorrentía.

Tabla 113:Escorrentía de los taludes de 30° y 45° con geomanto permanente (GMAT DS310) + vetiver

Fuente: creación propia

ESCORRENTÍA (ml)	
TALUD	**(GEOMANTO PERMANENTE)**
30°	5500,00
45°	7060,00

13.1.3.1 Escorrentía vs días con [geomanto permanente (GMAT DS310) (Villalba, 2021)] vs con [geomanto permanente (GMAT DS310) + vetiver]

Analizando los resultados de escorrentía del geomanto permanente (GMAT DS310) con vetiver obtenidos en esta investigación con los de la tesis de mis compañeros (Said Onofa y Rosario Villalba (Villalba, 2021)) en los que realizaron las simulaciones, pero solo con el geomanto permanente (GMAT DS310), podemos ver que la escorrentía disminuyo significativamente un 30% con la implementación de geomantos y vetiver en comparación con solo el uso del geomanto, por lo que se demuestra que la vegetación es una solución óptima en el control de escorrentía junto al uso de geomantos y que es más eficaz usar vegetación que solo geomanto en la protección del talud frente a la precipitación.

Tabla 114:comparación de la escorrentía de los taludes de 30° y 45° solo con [geomanto permanente (GMAT DS310) (Villalba, 2021)] vs con [geomanto permanente (GMAT DS310) + vetiver]

Fuente: creación propia

Escorrentía (ml)		
Talud	**Permanente**	**Permanente + Vetiver**
30°	19168,22	5500,00
45°	23588,63	7060,00

13.1.4 Escorrentía vs días del geomanto temporal (GMAT VT400) con vetiver

Analizando las gráficas (Escorrentía vs Días) del geomanto temporal (GMAT VT400) con vetiver, vemos que la escorrentía es menor que con los taludes con franjas de geomanto permanente (GMAT DS310) con vetiver, obtenemos que el talud de 45° tuvo el mayor valor de escorrentía dando 6388.33 ml, mientras que el talud de 30° tuvo el menor valor de escorrentía dando 6231.67 ml. Por lo tanto, se concluye que el talud de 45° temporal (GMAT VT400) con vetiver es el más susceptible a sufrir

escorrentía frente a la caída constante de gotas de lluvia. Podemos ver que la escorrentía disminuyo significativamente un 80% con la implementación del geomanto temporal (GMAT VT400) con vetiver. Este geomanto tiene un óptimo funcionamiento frente al efecto de las precipitaciones simuladas por la menor proporción de suelo perdido, controlando de una manera eficaz la escorrentía.

Tabla 115: Escorrentía de los taludes de 30° y 45° con geomanto temporal (GMAT VT400) + vetiver

Fuente: creación propia

ESCORRENTÍA (ml)	
TALUD	**(GEOMANTO TEMPORAL)**
30°	6231,67
45°	6388,33

13.1.4.1 Escorrentía vs días con [geomanto temporal (GMAT VT400) (Villalba, 2021)] vs con [geomanto temporal (GMAT VT400) + vetiver]

Analizando los resultados de escorrentía del temporal (GMAT VT400) con vetiver obtenidos en esta investigación con los de la tesis de mis compañeros (Said Onofa y Rosario Villalba (Villalba, 2021)) en los que realizaron las simulaciones, pero solo con el geomanto temporal (GMAT VT400), podemos ver que la escorrentía disminuyo significativamente un 37% con la implementación de geomantos y vetiver en comparación con solo el uso del geomanto, por lo que se demuestra que la vegetación es una solución óptima en el control de escorrentía junto al uso de geomantos y que es más eficaz usar vegetación que solo geomanto en la protección del talud frente a la precipitación.

Tabla 116:comparación de la escorrentía de los taludes de 30° y 45° solo con [geomanto temporal (GMAT VT400) (Villalba, 2021)] vs con [geomanto temporal (GMAT VT400) + vetiver]

Fuente: creación propia

Escorrentía (ml)		
Talud	**Temporal**	**Temporal + Vetiver**
30°	14559,04	6231,67
45°	17075,99	6388,33

13.1.4.2 Escorrentía vs días con geomanto temporal + vetiver [creación propia vs (Escobar M. , 2014)]

Analizando los resultados de escorrentía del geomanto temporal (GMAT VT400) con vetiver obtenidos en esta investigación con los de la tesis de Manuel Escobar realizada en Bogotá en el 2014 con un geomanto temporal con vetiver (Escobar M. , 2014), la escorrentía que se obtuvo en esta investigación es menor en un 2% en comparación a la investigación de Escobar (Escobar M. , 2014), por lo que se demuestra que la vegetación es una solución óptima en el control de escorrentía junto al uso de geomantos en la protección del talud frente a la precipitación tanto en Colombia como en Ecuador, ya que estos países tienen un clima muy similar.

Tabla 117:comparación de la escorrentía de los taludes de 30° y 45° con geomanto temporal + vetiver [creación propia vs (Escobar M. , 2014)]

Fuente: creación propia

	Escorrentía (ml)	
Talud	**Temporal + Vetiver (Escobar M. , 2014)**	**Temporal + Vetiver**
30°	6405,86	6231,67
45°	6533,98	6388,33

Analizando las gráficas (Escorrentía vs Días), obtenemos que el talud de 45° con geomanto permanente (GMAT DS310) con vetiver tuvo el mayor valor de escorrentía dando 7060 ml, mientras que el talud de 30° con geomanto permanente (GMAT DS310) con vetiver tuvo el menor valor de escorrentía dando 5500 ml. Por lo tanto, se concluye que el talud de 45° con geomanto permanente (GMAT DS310) con vetiver es el más susceptible a sufrir escorrentía frente a la caída constante de gotas de lluvia.

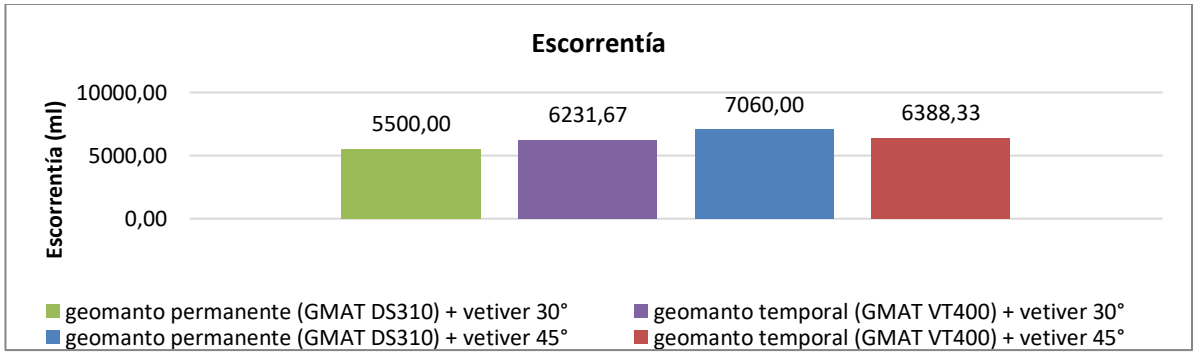


Ilustración 59:Resultados de escorrentía de taludes de 30° y 45°
Fuente: creación propia

13.1.5 Infiltración vs días del geomanto permanente (GMAT DS310) con vetiver

Analizando las gráficas (Infiltración vs Días) del geomanto permanente (GMAT DS310) con vetiver, obtenemos que el talud de 30° tuvo el mayor valor de infiltración dando 61743.67 ml, mientras que el talud de 45° tuvo el menor valor de infiltración dando 60416 ml. Por lo tanto, se concluye que el talud de 30° con geomanto permanente (GMAT DS310) con vetiver es el más susceptible a tener infiltración frente a la caída constante de gotas de lluvia. Podemos ver que la infiltración aumento significativamente un 77% con la implementación del geomanto permanente (GMAT DS310) con vetiver. Este geomanto tiene un óptimo funcionamiento frente al efecto de las precipitaciones simuladas por la menor proporción de suelo perdido, teniendo de una manera eficaz la infiltración.

Tabla 118: Infiltración de los taludes de 30° y 45° con geomanto permanente (GMAT DS310) + vetiver
Fuente: creación propia

INFILTRACIÓN (ml)	
TALUD	**(GEOMANTO PERMANENTE)**
30°	61743,67
45°	60416,00

13.1.5.1 Infiltración vs días con [geomanto permanente (GMAT DS310) (Villalba, 2021)] vs con [geomanto permanente (GMAT DS310) + vetiver]

Analizando los resultados de infiltración del geomanto permanente (GMAT DS310) con vetiver obtenidos en esta investigación con los de la tesis de mis compañeros (Said Onofa y Rosario Villalba (Villalba, 2021)) en los que realizaron las simulaciones, pero solo con el geomanto permanente (GMAT DS310), podemos ver que la infiltración aumento significativamente un 38% con la implementación de geomantos y vetiver en comparación con solo el uso del geomanto, por lo que se demuestra que la vegetación es una solución óptima en el control de escorrentía junto al uso de geomantos y que es más eficaz usar vegetación que solo geomanto en la protección del talud frente a la precipitación.

Tabla 119:comparación de la infiltración de los taludes de 30° y 45° solo con [geomanto permanente (GMAT DS310) (Villalba, 2021)] vs con [geomanto permanente (GMAT DS310) + vetiver]

Fuente: creación propia

Infiltración (ml)		
Talud	**Permanente**	**Permanente + Vetiver**
30°	48427,87	61743,67
45°	43535,53	60416,00

13.1.6 Infiltración vs días del geomanto temporal (GMAT VT400) con vetiver

Analizando las gráficas (Infiltración vs Días) del geomanto temporal (GMAT VT400) con vetiver, vemos que la infiltración es mayor que con los taludes con franjas de geomanto permanente (GMAT DS310) con vetiver, obtenemos que el talud de 45° tuvo el mayor valor de infiltración dando 61930.33 ml, mientras que el talud de 30° tuvo el menor valor de infiltración dando 61892.33 ml. Por lo tanto, se concluye que el talud de 45° temporal (GMAT VT400) con vetiver es el más susceptible a tener infiltración frente a la caída constante de gotas de lluvia. Podemos ver que la infiltración aumento significativamente un 86% con la implementación del geomanto temporal (GMAT VT400) con vetiver. Este geomanto tiene un óptimo funcionamiento frente al efecto de las precipitaciones simuladas por la menor proporción de suelo perdido, teniendo de una manera eficaz la infiltración.

Tabla 120: Infiltración de los taludes de 30° y 45° con geomanto temporal (GMAT VT400) + vetiver

Fuente: creación propia

INFILTRACIÓN (ml)	
TALUD	**(GEOMANTO TEMPORAL)**
30°	61892,33
45°	61930,33

13.1.6.1 Infiltración vs días con [geomanto temporal (GMAT VT400) (Villalba, 2021)] vs con [geomanto temporal (GMAT VT400) + vetiver]

Analizando los resultados de la infiltración del geomanto temporal (GMAT VT400) con vetiver obtenidos en esta investigación con los de la tesis de mis compañeros (Said Onofa y Rosario Villalba (Villalba, 2021)) en los que realizaron las simulaciones, pero solo con el geomanto temporal (GMAT VT400), podemos ver que la infiltración aumento significativamente un 25% con la implementación de

geomantos y vetiver en comparación con solo el uso del geomanto, por lo que se demuestra que la vegetación es una solución óptima en el control de la infiltración junto al uso de geomantos y que es más eficaz usar vegetación que solo geomanto en la protección del talud frente a la precipitación.

Tabla 121:comparación de la infiltración de los taludes de 30° y 45° solo con [geomanto temporal (GMAT VT400) (Villalba, 2021)] vs con [geomanto temporal (GMAT VT400) + vetiver]

Fuente: creación propia

Infiltración (ml)		
Talud	**Temporal**	**Temporal + Vetiver**
30°	51125,73	61892,33
45°	49552,63	61930,33

13.1.6.2 Infiltración vs días con geomanto temporal + vetiver [creación propia vs (Escobar M. , 2014)]

Analizando los resultados de infiltración del geomanto temporal (GMAT VT400) con vetiver obtenidos en esta investigación con los de la tesis de Manuel Escobar realizada en Bogotá en el 2014 con un geomanto temporal con vetiver (Escobar M. , 2014), la infiltración que se obtuvo en esta investigación es menor en un 5% en comparación a la investigación de Escobar (Escobar M. , 2014), por lo que se demuestra que la vegetación es una solución óptima en el control de infiltración junto al uso de geomantos en la protección del talud frente a la precipitación tanto en Colombia como en Ecuador, ya que estos países tienen un clima muy similar.

Tabla 122:comparación de la infiltración de los taludes de 30° y 45° con geomanto temporal + vetiver [creación propia vs (Escobar M. , 2014)]

Fuente: creación propia

Infiltración (ml)		
Talud	**Temporal + Vetiver (Escobar M. , 2014)**	**Temporal + Vetiver**
30°	64699,19	61892,33
45°	65993,17	61930,33

Analizando las gráficas (Infiltración vs Días), obtenemos que el talud de 45° con geomanto temporal (GMAT VT400) con vetiver tuvo el mayor valor de infiltración dando 61930.33 ml, mientras que el talud de 45° con geomanto permanente (GMAT

DS310) con vetiver tuvo el menor valor de infiltración dando 60416 ml. Por lo tanto, se concluye que el talud de 45° con geomanto temporal (GMAT VT400) con vetiver es el más susceptible a tener infiltración frente a la caída constante de gotas de lluvia.

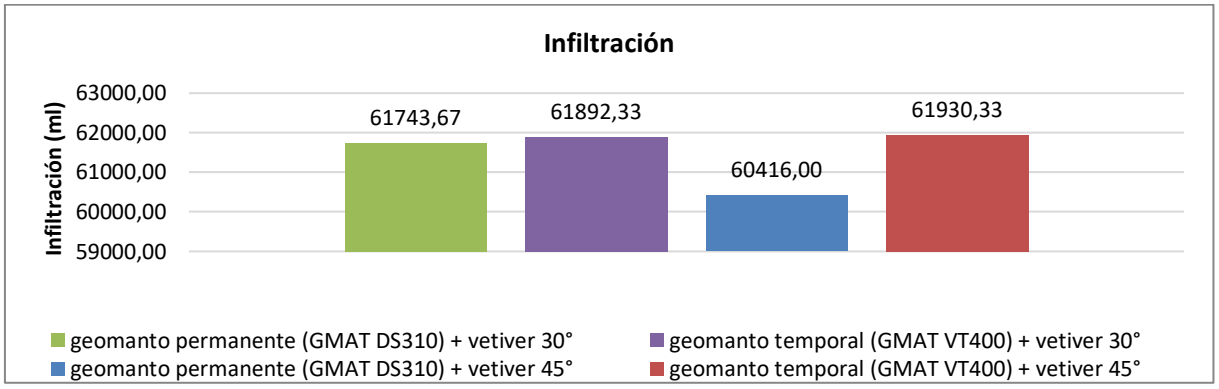


Ilustración 60:Resultados de infiltración de taludes de 30° y 45°

Fuente: creación propia

13.1.7 Longitudes y pesos del vetiver

En el talud de 30°, la longitud promedio del brote de vetiver aumento 42 cm tanto en el geomanto temporal (GMAT VT400) como en el geomanto permanente (GMAT DS310). La longitud promedio de la raíz de vetiver aumento 8 cm en el geomanto temporal (GMAT VT400) y 7 cm en el geomanto permanente (GMAT DS310). El peso promedio del vetiver aumento 108 gr tanto en el geomanto temporal (GMAT VT400) como en el geomanto permanente (GMAT DS310).

En el talud de 45°, la longitud promedio del brote de vetiver aumento 43 cm en el geomanto temporal (GMAT VT400) y de 48 cm en el geomanto permanente (GMAT DS310). La longitud promedio de la raíz de vetiver aumento 14 cm en el geomanto temporal (GMAT VT400) y 10 cm en el geomanto permanente (GMAT DS310). El peso promedio del vetiver aumento 112 gr en el geomanto temporal (GMAT VT400) y 111 gr el geomanto permanente (GMAT DS310).

Tabla 123:longitudes promedio de brote y raíz, y el peso promedio del vetiver antes y después de simulación

Fuente: creación propia

		Antes de simulación			Después de simulación		
Talud	**Muestra**	**Longitud del brote**	**Longitud de la raíz**	**Peso del brote + raíz**	**Longitud del brote**	**Longitud de la raíz**	**Peso del brote + raíz**
		(cm)	**(cm)**	**(gr)**	**(cm)**	**(cm)**	**(gr)**
30°	Temporal	30	5	112	72	13	220

	Permanente	72	12	220
45°	Temporal	73	19	224
	Permanente	78	15	223

En el talud de 30°, la longitud promedio del brote de vetiver es de 72 cm tanto en el geomanto temporal (GMAT VT400) como en el geomanto permanente (GMAT DS310). La longitud promedio de la raíz de vetiver es de 12 cm en el geomanto temporal (GMAT VT400) y de 12 cm en el geomanto permanente (GMAT DS310). El peso promedio del vetiver es de 220 gr tanto en el geomanto temporal (GMAT VT400) como en el geomanto permanente (GMAT DS310).

En el talud de 45°, la longitud promedio del brote de vetiver es de 73 cm en el geomanto temporal (GMAT VT400) y de 78 cm en el geomanto permanente (GMAT DS310). La longitud promedio de la raíz de vetiver es de 19 cm en el geomanto temporal (GMAT VT400) y de 15 cm en el geomanto permanente (GMAT DS310). El peso promedio del vetiver es de 224 gr en el geomanto temporal (GMAT VT400) y 223 gr el geomanto permanente (GMAT DS310).

Tabla 124:longitudes promedio de brote y raíz, y el peso promedio del vetiver

Fuente: creación propia

Talud	**Muestra**	**Longitud del brote (cm)**	**Longitud de la raíz (cm)**	**Peso del brote + raíz (gr)**
30°	Temporal	72	13	220
	Permanente	72	12	220
45°	Temporal	73	19	224
	Permanente	78	15	223

Se puede concluir que el geomanto que tiene el mejor comportamiento en la germinación y crecimiento del vetiver en cuanto a longitud y peso es el geomanto temporal (GMAT VT400) del talud de 45° y el geomanto que tiene el peor comportamiento en la germinación y crecimiento del vetiver en cuanto a longitud y peso es el geomanto permanente (GMAT DS310) del talud de 30°.

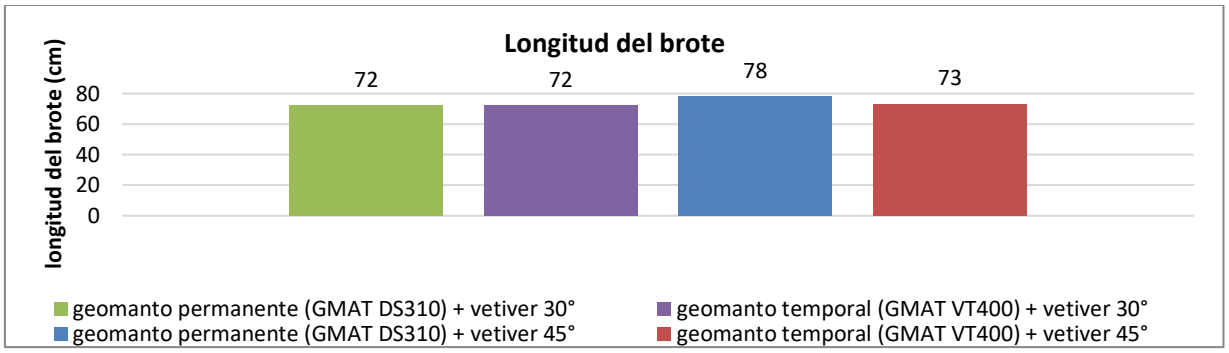


Ilustración 61:Resultados de longitud del brote de vetiver de taludes de 30° y 45°

Fuente: creación propia

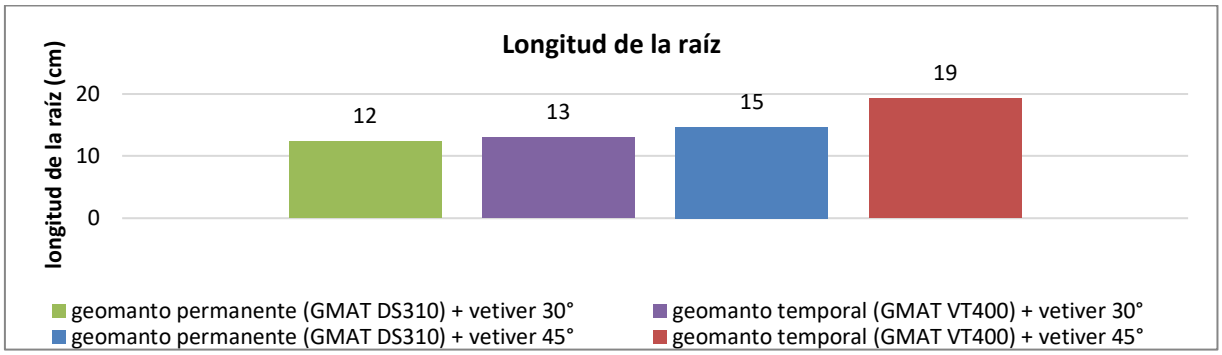


Ilustración 62:Resultados de longitud de la raíz de vetiver de taludes de 30° y 45°

Fuente: creación propia

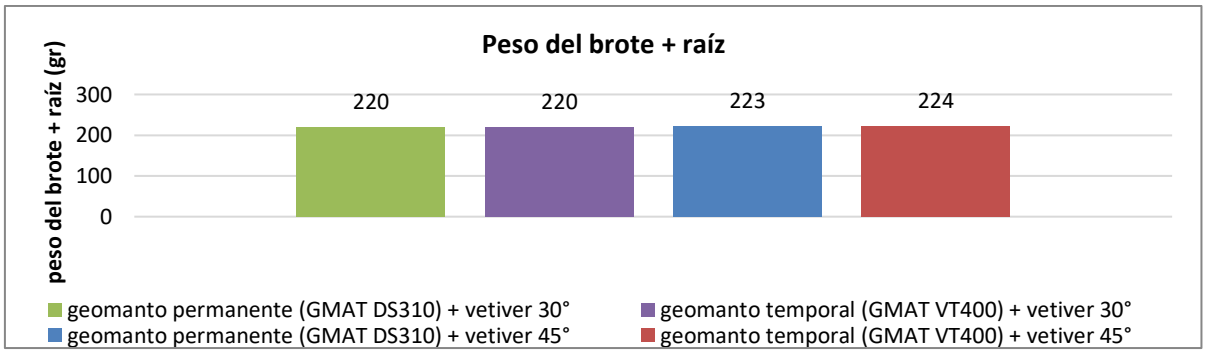


Ilustración 63:Resultados del peso de vetiver de taludes de 30° y 45°

Fuente: creación propia

13.2 Recomendaciones

- Se recomienda que el simulador de precipitación cumpla con todas las condiciones y parámetros necesarios según la norma ASTM D 7101.
- Se recomienda que el ensayo de precipitación cumpla con todas las condiciones y parámetros necesarios según la norma ASTM D 7322.
- El alcance de la presente investigación se limita al estudio del tipo de suelo arena limosa (suelo estándar), por lo cual se propone estudiar el control de erosión en muestras reales (taludes reales) con diferentes tipos de suelo, geomantos y vegetación según las necesidades de investigación, tomando como guía este trabajo.
- Para tener un estudio más exacto y preciso se pueden realizar los ensayos de precipitación y germinación en taludes a escala donde se pueda comprobar y comparar los resultados obtenidos en esta investigación con los realizados a escala.
- Se debe tener en cuenta el porcentaje de error en los resultados obtenidos debido a la precisión con la que se realizaron los ensayos.
- Se debe tener cuidado en el riego de la vegetación ya que no debe ser con abundante agua o con agua a presión porque puede generar perdidas de suelo en los taludes antes del ensayo de precipitación, alterando los resultados finales.

14. Bibliografía

Albuja, J. (2018). *Suelos I.* Quito: PUCE.

Alva, J. (2020). *ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.* Lima: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA.

Arias, J. (6 de abril de 2016). *El protocolo de investigación III*. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/4867/486755023011.pdf

Arosemena, M. (2018). Vetiver: Soluciones Ambientales . *The Vetiver Network International*, 60. Obtenido de https://www.vetiver.org/PAN_APC_overviewo1.pdf

Arregui, M. (2017). *ESTRUCTURA DEL SUELO Y GRANULOMETRÍA.* Obtenido de https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3375/cap3.pdf?sequence=13&isAllowed=y

Arteaga, G. (1 de octubre de 2020). *Enfoque cuantitativo*. Obtenido de https://www.testsiteforme.com/enfoque-cuantitativo/#:~:text=Definici%C3%B3n%20de%20enfoque%20cuantitativo,manipular%20los%20datos%20estad%C3%ADsticos%20existentes.

ASTM C136. (2021). *ASTM C136: Método estándar de ensayo para análisis por tamizado de.* West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM D6475. (2017). *ASTM D6475: Standard Test Method for Measuring Mass per Unit Area of Erosion Control Blankets.* West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM D6818. (2002). *ASTM D6818: Standard Test Method for Ultimate Tensile Properties of Turf Reinforcement Mats.* West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM D698. (2020). *ASTM D698: Métodos de prueba estándar para las características de compactación de laboratorio del suelo con esfuerzo estándar.* West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTMC128. (2015). *ASTM C128: Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados finos.* West Conshohocken, PA: ASTM INTERNATIONAL.

ASTMC29. (2017). *ASTM C29:Método de prueba estándar para determinar la densidad a granel (“peso unitario”) y los huecos de aire de un agregado.*

ASTMD2216. (2019). *ASTM D 2216: Métodos de prueba estándar para la determinación de laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo y la roca en masa.* West Conshohocken: ASTM INTERNATIONAL.

ASTMD2487. (2017). *ASTM D 2487: Clasificación de suelos para propósitos de Ingeniería (Sistema Unificado de clasificación de Suelos, SUCS).* West Conshohocken, PA: ASTM INTERNATIONAL.

ASTMD2488. (2017). *ASTM D2488: Práctica estándar recomendada para la identificación y descripción de suelos (procedimiento visual-manual).*

ASTMD3080. (2011). *ASTM D3080: Corte directo de suelos bajo condición consolidada y drenada.* West Conshohocken, PA: ASTM INTERNATIONAL.

ASTMD422. (2014). *ASTM D 422: Método de prueba estándar para el análisis del tamaño de partículas de los suelos.* West Conshohocken: ASTM INTERNATIONAL.

ASTMD4220. (2014). *ASTM D 4220: Practica Estándar para Preservar y Transportar Muestras de Suelo.*

ASTMD4318. (2017). *ASTM D 4318: Método estándar de ensayos para limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad de suelos.* West Conshohocken: ASTM INTERNATIONAL.

ASTMD4533. (2015). *ASTM D 4533: Método de prueba estándar para resistencia al desgarro trapezoidal de los geotextiles.* West Conshohocken, PA: ASTM INTERNATIONAL.

ASTMD4632. (2015). *ASTM D4632: Metodo de prueba estandar para agarre la carga de rotura y elongacion de geo mantos.* West Conshohocken, PA: ASTM INTERNATIONAL.

ASTMD4833. (2020). *ASTM D 4833: Metodo de prueba estandar para el indice de resistencia a la perforacion de geo mantos.* West Conshohocken, PA: ASTM INTERNATIONAL.

ASTMD5268. (2019). *ASTM D 5268: Especificación estándar para Tierra vegetal utilizada para fines de construcción y jardinería.* West Conshohocken, PA: ASTM INTERNATIONAL.

ASTMD6459. (2019). *ASTM D 6459: Método de prueba estándar para Determinación del rendimiento del producto laminado para el control de la erosión (RECP) en la protección de laderas de la erosión inducida por la lluvia.* West Conshohocken, PA: ASTM INTERNATIONAL.

ASTMD6475. (2017). *ASTM D 6475: Metodo de prueba estandar para medicion de masa por unidad de area de mantos de control de erosion.* West Conshohocken, PA: ASTM INTERNATIONAL.

ASTMD6525. (2018). *ASTM D 6525: Metodo de prueba estandar para la medicion del espesor nominal de mantos de control de erosion.* West Conshohocken, PA: ASTM INTERNATIONAL.

ASTMD6566. (2018). *ASTM D 6566: Metodo de prueba estandar para la medicion de masa por unidad de area de geo mantos.* West Conshohocken, PA: ASTM INTERNATIONAL.

ASTMD6818. (2021). *ASTM D 6818: Metodo de prueba estandar para las propiedades de traccion de los mantos de control de erosion.* West Conshohocken, PA: ASTM INTERNATIONAL.

ASTMD6913. (2017). *ASTM D 6913: Metodos de prueba estandar de la distribución del tamaño de partícula (Gradación) de suelos mediante el análisis de tamices.* West Conshohocken: ASTM INTERNATIONAL.

ASTMD6938. (2000). *ASTM D6938: Métodos de prueba estándar para las características de compactación de suelo en laboratorio utilizando un esfuerzo estándar (12,400 ft-lbf / ft3 (600 kN-m / m3).* West Conshohocken, PA: ASTM INTERNATIONAL.

ASTMD7101. (2013). *ASTM D7101:Método de prueba de índice estándar para la determinación de la capacidad del producto de control de la erosión rodada no desovado (RECP) para proteger el suelo contra salpicaduras de lluvia y escorrentía asociada en condiciones de escala de re.* West Conshohocken, PA: ASTM INTERNATIONAL.

ASTMD7322. (2017). *ASTM D 7322:Método de prueba estándar para la determinación de la capacidad del producto de control de la erosión (ECP) para estimular la germinación de brotes y el crecimiento de las plantas en condiciones de escala de laboratorio.* West Conshohocken, PA: ASTM INTERNATIONAL.

Azuero, A. (2018). *Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación.* Santa Ana de Coro: FUNDACIÓN KOINONIA.

Badillo, J. (2010). *Mecánica de suelos.* Mexico: Limusa.

Bedolla, A. (2015). Vetiver. *Ojeando la Agenda - Dialnet*, 14.

Beltrán, M. (2017). *Deslizamiento de tierra.* Santiago de Chile: Construyored. Obtenido de https://construyored.com/noticias/1806-que-causa-un-deslizamiento-de-tierra

Bernal, M. (23 de noviembre de 2018). *Determinación del ángulo de fricción interna por medio de pruebas triaxiales tipo UU y CU en jales.* Guanajuato: Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica. Obtenido de https://ingeotec.blogspot.com/2018/11/esfuerzos-totales-y-efectivos.html

Cabezas, E. (2017). *Diario Sur*. Obtenido de https://www.diariosur.es/economia/agroalimentacion/201702/10/vetiver-planta-muchos-usos-20170210152059.html

Caicedo, L. (2017). *BENEFICIOS DE LOS MANTOS DE CONTROL DE EROSIÓN TEMPORAL PARA LA RECUPERACIÓN Y PROTECCIÓN DE TALUDES Y REPRESENTACIÓN EN UN MODELO FÍSICO DE LABORATORIO.* Bogota: Universidad Católica de Colombia.

Camacho, C. (2021). Estimación del coeficiente de permeabilidad del suelo en la ciudad de Macas -Ecuador utilizando permeámetro de carga variable. *Revista Científica*, 10. Obtenido de https://www.finesoftware.es/ayuda-en-linea/geo5/es/coeficiente-de-permeabilidad-01/

Caramaso, A. (2017). *Cambios de uso del suelo, producción de escorrentía y pérdida de suelo. Sinergias y compensaciones en una rambla mediterránea.* Valencia: Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles. Obtenido de https://www.fundacionaquae.org/escorrentia/

Carreno, N. (18 de Mayo de 2018). *Intensidades de lluvia para diseño de obras de drenaje.* Hidalgo: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Obtenido de http://wwwimois09.blogspot.com/2008/05/el-pluviografo.html

Cartonalli, A. (4 de Febrero de 2020). *DISEÑO EXPERIMENTAL MEDIANTE LLUVIA SIMULADA PARA EL ESTUDIO DE LOS CAMBIOS EN LAEROSIÓNDELSUELO DURANTE LATORMENT*. Murcia: Universidad Miguel Hernández. Obtenido de https://core.ac.uk/reader/36027760

Castagnino, L. (2018). *BIOINGENIERIA: CONTROL DE EROSION DE SUELOS Y TALUDES*. Obtenido de http://castagninoingenieria.com.ar/vetiver.htm

Castellano, L. (2018). *Bioingeniería: control de erosión de suelos*. Obtenido de https://revistavial.com/bioingenieria-control-de-erosion-de-suelos/

Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica. (1986). *La erosión en el Ecuador*. Obtenido de https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers08-01/23658.pdf

Centro ecuatoriano de investigación geográfica. (2018). *erosión.* Centro ecuatoriano de investigación geográfica.

Cereno, M. M. (2020). Refuerzo combinado de hidrosiembra y coconet para el control de la erosión del suelo. *Universidad San Ignacio Loyola*, 66.

Certa, A. (2019). *Simuladores de lluvia y su geomorfología.* Logroño: Universidad de Valencia.

Cobo, A. (2018). *Análisis de la infiltración, escorrentía y erosión superficial en un talud experimental.* Barcelona: Escola de Camins.

Colotti, E. (2015). *LA EROSIVIDAD.* Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/721/72102406.pdf

Comercio. (28 de Febrero de 2020). *Intensas lluvias en Quito causan dos derrumbes en la vía Calacalí y en Pisulí*. Obtenido de https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/deslizamiento-tierra-calacali-independencia-pisuli.html

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.

Corzo, C. (2013). *Protección de taludes con vegetación.* Bogotá: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.

Creighton, C. (2014). *INFORME SOBRE EL PROBLEMA DE MALEZAS POTENCIALES DE LA HIERBA VETIVER Y SU EFICACIA EN EL CONTROL DE EROSIÓN DEL SUELO EN FIJI.* Townsville: Marshell.

Dialnet. (2015). Vetiver. *Ojeando la Agenda*.

Díaz, A. (23 de noviembre de 2018). LIBRO DE ACTAS DEL XXVI Congreso Universitario de Innovación Educativa En las Enseñanzas Técnicas. Gijón: UNIVERSIDAD DE OVIEDO. Obtenido de https://ingeotec.blogspot.com/2018/11/circulo-de-mohr.html

Escobar, D. (2019). *Erosion hidrica en el norte de Chile.* Santiago: UNIVERSIDAD DE CHILE. Obtenido de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/173350/estimacion-erosion-hidrica.pdf

Escobar, M. (2014). *Viabilidad de la implementacion del pasto vetiver en taludes.* Bogotá: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA. Obtenido de https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1588/1/documento%20de%20trabajo%20de%20investigaci%C3%B3n.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.

Falconí, C. (2013). *Metodos para controlar la erosion hidrica y eolica.* QUITO: UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO. Obtenido de https://docplayer.es/64142165-Carlos-andres-falconi-vaca.html

Fogel, M. (2019). Tipos de simuladores de lluvia. New York: Orstom. Obtenido de https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/b_fdi_53-54/010020394.pdf

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

Frankie. (8 de enero de 2014). *Estudios Geotécnicos*. Obtenido de http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/spt-suelos-cohesivos/

Gallego, M. (2013). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de “San Antonio de Pichincha”.* Quito: Gobierno de San Antonio de Pichincha.

García, J. (2011). *Procesos Erosivos*. Obtenido de https://imta.gob.mx/potamologia/images/stories/ponencias_tercer_seminario/dr_jose_garcia_procesos_erosivos/procesos_erosivos_modelos_2.pdf

García, J. (2017). *Clasificación Bayesiana de Hidrometeoros Orientados a la Estimación de la Cantidad Precipitada a partir de las Medidas de Radar Polarimétrico.* Bogotá: PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA.

Geoaceperu. (3 de octubre de 2019). *Geomantas*. Obtenido de https://www.geoaceperu.com/blog/que-son-geomantas-por-que-usan/

Geoambientales, I. (2018). Obtenido de http://geoigm.com/nosotros-geomantos-control-erosion-estabilizacion-taludes/

Geografica, C. E. (1986). *La erosión en el Ecuador*. Obtenido de https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers08-01/23658.pdf

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

Geosai. (s.f.). *Soluciones ambientales integrales*. Obtenido de https://www.geosai.com/productos/mantas-control-de-erosion/

Geotecnia.online. (8 de junio de 2020). *Propiedad índice*. Obtenido de https://www.diccionario.geotecnia.online/palabra/propiedad-indice/

Gerens. (2021). *Gerens*. Obtenido de https://gerens.pe/blog/lhidrosiembra-bioingenieria-mirador-ecuador/

Gnansounou, E. (2017). *Múltiples aplicaciones de la hierba de vetiver.* Lausana: Grupo de Investigación en Bioenergía y Planificación Energética.

Gobierno de México. (2019). *¿Cómo se realiza un ensayo de germinación?* Obtenido de https://www.gob.mx/snics/articulos/como-se-realiza-un-ensayo-de-germinacion

Gómez Bastar, S. (2012). *Metodología de la Investigación.* México: Red tercer milenio.

Gómez, N. (2018). *erosión.* Quito: Centro ecuatoriano de investigación geográfica.

Gonzáles, A. (2017). *Aplicación de la teoría de seguridad al diseño de cimentaciones en arenas.* Santa Clara: Universidad Central de Las Villas.

Gonzales, E. (2019). *Pasto vetiver oara el control de erosión de taludes en Colombia*. Obtenido de https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1588/3/art%C3%ADculo.pdf

GONZÁLEZ, M. D. (2012). *PROPUESTA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA SAN ANTONIO DE PICHINCHA PARA EL PERÍODO 2010 – 2020.* Obtenido de http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/10854/6.79.001234.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Grimshaw, R. (2020). Vetiver, un excelente pasto para la conservación del agua. *Leisa*, 14.

Guerra, S. (2020). *EL USO DE UN SIMULADOR DE LLUVIA.* Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.

Gutierrez, R. (2018). *Composición del suelo.* Obtenido de https://www.um.es/sabio/docs-cmsweb/materias-may25-45/tema_6.pdf

Hérnandez, L. (2016). *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.* Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro. Obtenido de https://www.meteolobios.es/lluvia.htm

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2003). *Metodología de la Investigación.* México D.F.: Mc Graw Hill.

Hocol. (s.f.). Obtenido de https://www.hocol.com.co/

Hurtado, A. (2015). *Introducción y conceptos basicos.* Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de http://www.jorgealvahurtado.com/files/labgeo19_a.pdf

I.N.V.E 901. (2007). *I.N.V.E 901: MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CARGA DE ROTURA Y LA ELONGACIÓN DE GEOTEXTILES (MÉTODO DE GRAB).* Colombia: INVIAS.

Íbañez, S. (2020). *EL USO DE UN SIMULADOR DE LLUVIA.* Valencia: Universidad de Valencia.

Inahmi. (2021). *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*. Obtenido de https://www.inamhi.gob.ec/

Industrias Geoambientales Montecristi. (2021). *GMAT DS310.* Montecristi: IGM.

Industrias Geoambientales Montecristi. (2021). *GMAT VT400.* Montecristi: IGM.

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.

Iturralde, C. (2015). *Escorrentía.* Coruña: Universidad de Coruña. Obtenido de http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/415/pdfs/Capitulo%205.pdf

Iza Alison. (2019). *EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL SISTEMA DE ISLAS FLOTANTES ARTIFICIALES (IFA) CON VETIVER (VETIVERIA ZIZANIOIDES) A TRAVÉS DE UN MODELO MATEMÁTICO.* Latacunga: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.

Jimba, C. (2019). *Uso de pasto vetiver para la conservación del suelo y el agua en Nigeria.* Nigeria: Universidad de Ibadan.

Jiménez, J. (2019). *Funciones de R para graficar, clasificar y explorar los datos de textura del suelo.* Panamá: Universidad Tecnologica de Panamá. Obtenido de http://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm

Jing, X. (2017). Comportamiento de la Interfaz de corte directo entre el suelo y las superficies dentales. *Academia*, 5. Obtenido de https://geoquantics.com/2020/02/05/esfuerzo-cortante-suelos/

Juncosa, R. (2005). *Hidrología I: ciclo hidrológico.* España: Rep. del Noroeste.

Larranaga, P. (2015). *La erosión del suelo y sus tasas en España.* Zaragoza: Instituto Pirenaico de Ecología. Obtenido de https://concepto.de/erosion-del-suelo/

León, S. (2019). *MEDICIÓN DE LA SUCCIÓN EN MUESTRAS DE SUELOS NO SATURADOS CON WP4C.* Bogota: UNIVERISIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.

Lihar. (2019). Obtenido de https://lihar.com.pe/

Lizárraga, L. (2018). Uso de tecnologías de bajo impacto como alternativa para la restauración del ciclo hidrológico en zonas urbanas: Campus universitario de la uaeh como caso de estudio. Hidalgo: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Obtenido de https://www.ciclohidrologico.com/precipitacin

Lorch, R. (2014). *SISTEMA VETIVER PARA EL CONTROL DE EROSIÓN Y SEDIMENTOS.* Brisbane: Veticon Consulting.

Mallas, A. M. (2015). Obtenido de https://www.emis.com/php/company-profile/CO/Aceros_Metales_Y_Mallas_Ltda_es_1206445.html

Mantilla, C. (2020). *Lluvias, Presión de Poros y sus efectos.* Limusa: Balkema.

Martín de la Cruz. (Abril de 2020). *simuladores de lluvia.* Madrid: 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://www.fao.org/3/t0848s/t0848s08.htm

Medina, C. (2021). *Plan de ordenamiento territorial de San Antonio de Pichincha - Gobierno de Pichincha.* Quito: Gobierno de San Antonio de Pichincha.

Megahierro. (2021). Obtenido de https://megahierro.com/producto/combo-acero-10lb-hm-1158-con-mango-hunter-herr/

Melgarejo, J. (2016). Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes. *Universitat d’Alacant*, 18. Obtenido de https://webs.ucm.es/info/diciex/proyectos/agua/esc_sub_infiltracion.html

Méndez, L. (2014). Resistencia a la tracción del sistema radicular del vetiver plantado en un suelo granular. *Geominas*, 5.

Mesa, M. (2020). EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN TALUDES DE TERRAPLENES CARRETEROS ALTOS ANTE CARGA SÍSMICA. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 15. Obtenido de https://ingenieriareal.com/talud-clasificacion-diseno/

Midha, V. K. (s.f.). *Influencia de la estructura tejida en los productos de control de la erosión laminados.* Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/263657138_Influence_of_woven_structure_on_coir_rolled_erosion-control_products

Ministerio de Obras Publicas. (2020). *Sistema de estabilización de taludes protege la vía de acceso al puerto pesquero de Anconcito*. Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/sistema-de-estabilizacion-de-taludes-protege-la-via-de-acceso-al-puerto-pesquero-de-anconcito/

Ministerio de transporte y obras públicas del Ecuador. (12 de enero de 2013). *Norma para estudios y diseños viales.* Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_2A.pdf

MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS DEL ECUADOR. (2013). *VOLUMEN II MANUAL DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE.* Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_2A.pdf

Monge, R. (2018). *Manual de operación del simulador de lluvia.* San José: PROYECTO MICROCUENCA PLANTÓN-PACAYAS. Obtenido de http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/N20-9438.PDF

Mtop. (2019). *MTOP finalizó las labores de protección y estabilización de taludes en el sector Playa Bruja*. Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/mtop-finalizo-las-labores-de-proteccion-y-estabilizacion-de-taludes-en-el-sector-playa-bruja/

Muenala, M. (2018). VULNERABILIDAD ANTE AMENAZAS DE DESLIZAMIENTOS E INUNDACIONES DE LA CUENCA DEL RÍO BLANCO. *UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE*, 23. Obtenido de https://www.studocu.com/latam/document/universidad-san-marcos/ingenieria/met-analitico-cap4-calculo-de-estabilidad-de-taludes/8550248

Navarro, E. (6 de agosto de 2021). El Niño-Oscilación del Sur, fase Modoki, y sus efectos en la variabilidad espacio-temporal de la precipitación en Colombia. Medellin: Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental . Obtenido de https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/atmosfera/las-precipitaciones-atmosfericas.asp

NEC . (2014). *Geotécnia y Cimentaciones - Norma Ecuatoriana de la Construcción.* Ecuador: Ministerio de desarrollo urbano y vivienda.

NEVI-12-MTOP. (2013). *PROCEDIMIENTOS PARA PROYECTOS VIALES.* Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_1.pdf

Paquisha, J. (2016). Manual de vetiver. *TVN*, 33.

Patiño, R. (2019). *Corte directo.* DF, Mexico: UDLAP.

Peltre, P. (2016). La erosión en el Ecuador. *Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica*, 80. Obtenido de https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers08-01/23658.pdf

Peralta, A. (2015). *APLICACIÓN DEL MODELO RUSLE PARA EL CÁLCULO DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA RÍO CUBÍ.* Quito: Universidad Central del Ecuador. Obtenido de http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/7258/1/T-UCE-0004-42.pdf

Pérez, N. (2020). *Determinación de la curva de compactación Proctor estándar de suelos de terraplén.* Sanfandila: Instituto Mexicano del Transporte.

Pineda, M. C. (2016). *LA OCURRENCIA DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA.* Venezuela: Universidad de Lleida.

Pinto, N. (2018). *Determinacion del angulo de friccion suelo - muro.* Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana. Obtenido de https://biblioteca.bucaramanga.upb.edu.co/docs/digital_37578.pdf

Pivaltec. (2019). *geomantos*. Obtenido de https://www.geosinteticos.com/control-de-erosion/

Quintero, J. (2018). APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS BLANDAS COMO APOYO EN LA PREDICCIÓN PROBABILÍSTICAS DE FALLA DE TALUDES, NORTE DE SANTANDER. *Universidad Francisco de Paula Santander*, 11.

Ramajo, L. (2014). MANUAL DE TÉCNICAS DE ESTABILIZACIÓN BIOTÉCNICA EN TALUDES DE INFRAESTRUCTURAS DE OBRA CIVIL. *Universidad de Córdoba*, Andalucía. Obtenido de https://digital.csic.es/bitstream/10261/110010/1/ManualVersionFinal.pdf

Rodríguez, W. (2019). *Propiedades indice de los suelos*. Obtenido de https://www.academia.edu/38423242/PROPIEDADES_INDICE_DE_LOS_SUELOS_pdf

Rojas , R. (2013). *Guía para realizar Investigaciones Sociales* . México: Plaza y Valdés Editores.

Rojas Gavilan, J. (2010). *Ensayo de Corte Directo ¨Informe sobre el Ensayo de Corte Directo¨*. Santo Domingo: Universidad Autónoma de Santo Domingo.

Ron, A. V. (23 de 11 de 2020). *Geografía y Clima del Ecuador*. Obtenido de https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/GeografiaClima/

Rosales, M. (2013). *ANÁLISIS BÁSICO SOBRE LA POSIBLE VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y DE LA TEMPERATURA BAJO LA INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CIUDAD DE QUITO.* Quito: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.

Rosales, O. (enero de 2020). *Estimación de la erosión hídrica potencial en la cuenca media y alta del río Rímac, aplicación del modelo Rusle.* Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Obtenido de https://issuu.com/unigis_latina/docs/tesis_rosales2

Rubin, Levin, Balderas, Del Valle, & Gómez. (2004). *Estadística para Administración y Economía.* México: Pearson Educación .

Rucks, L. (18 de Abril de 2018). *Propiedades Físicas del Suelo* . Montevideo: Universidad de la República. Obtenido de https://www.arcus-global.com/wp/mecanica-de-suelos-que-es-y-como-funciona/

Sabbe, P. (2020). Vetiver (Chrysopogon zizanioides). *VetiverConsultEcuador*, 11.

Sabino, C. (1992). *El proceso de Investigación.* Caracas: Panapo.

Sáez, E. (20 de enero de 2020). *Fundamentos de Geotecnia.* Obtenido de https://www.academia.edu/31477045/Fundamentos_de_Geotecnia_Esteban_S%C3%A1ez

Sandoval, R. (2018). ESTUDIO DEL EFECTO DE VEGETACIÓN EN TALUDES PARA SU ESTABILIZACIÓN. Lima: UCSC.

Solera, J. (2019). *Degradación del suelo.* Obtenido de https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/9988/4/Mataix-Solera-Jorge_3.pdf

Structuralia. (29 de Mayo de 2020). *Tipos de estudios de suelo*. Obtenido de https://blog.structuralia.com/estudio-de-mecanica-de-suelos

Suarez Dias, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.* Bucaramanga: Ingeniería de Suelos Ltda.

Suárez Días, J. (2001). *Control de erosion en zonas tropicales.* Colombia: Universidad Industrial de Santander.

Suarez, J. (2020). *Conformación de la Superficie del Talud.* Obtenido de https://xdoc.mx/preview/conformacion-de-la-superficie-del-talud-5f76a81d7187d#:~:text=En%20el%20talud%20derecho%20el,un%20talud%20de%20mayor%20pendiente.&text=incluir%20los%20siguientes%20procedimientos%3A&text=Tender%20el%20talud%20para%20disminuir,%2C%2

Tafur, C. (2019). Estudio para la estabilización del talud del tramo km-318+000 hasta km-318+300 de la carretera Cajamarca – Chachapoyas. *UNTRM*, 5. Obtenido de https://www.geosai.com/productos/mantas-control-de-erosion/

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

Tardeo, C. (2016). *ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR ELEMENTOS FINITOS EN LA ZONA DE HUAYLLAPAMPA.* Lima: UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA.

Tayupanta, J. (2013). La erosión hídrica: proceso, factores y formas. *Instituto nacional autónomo de investigaciones agropecuarias*, 16. Obtenido de https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/271

Torres, B. (2019). *Estabilidad de Taludes para mejorar la transitabilidad y seguridad en los tramos críticos de la carretera Monteseco, Distrito Catache.* CHICLAYO:

Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de https://www.geostru.eu/es/blog/2016/06/13/estabilidad-de-taludes/

Torres, J. (2017). *Estabilizacion de Taludes para el Mantenimiento de la Carretera “Huancayo -El Tambo - San Agustin de Cajas – Hualhuas –Saño – Quilcas - San Jeronimo de Tunan -Ingenio, Provincia de Huancayo – Junin - 2016.* Huancayo: Universidad Peruana Los Andes.

Transportes, M. d. (s.f.). Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/continua-cerrada-la-circulacion-vehicular-en-la-via-quito-guayllabamba/

Truong, P. (2015). VETIVER SYSTEM APPLICATIONS Technical Reference Manual. *Researchgate*, 12.

USDA. (Agosto de 2019). *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo.* Obtenido de https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051913.pdf

Varela, S. (2021). *Descripción y puesta a punto de un simulador de lluvia de campo para estudios de escorrentía superficial y erosión del suelo.* Coruña: Universidad de Vigo.

Villacis, E. (2017). Precipitaciones extremas en la ciudad de Quito. *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, 4.

Villalba, S. O. (2021). *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.* Quito: PUCE.

Villamar, R. (2021). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN Y SU RELACIÓN CON LA TEMPERATURA EN LA CIUDAD DE QUITO, ENTRE LOS AÑOS 2009-2019* . Guayaquil: UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR.

Vinueza, R. (ABRIL de 2016). PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DE GEOMANTOS. *MLingeniería*, 1,2. Obtenido de https://mlingenieria.com/wp-content/uploads/2016/04/prodecimiento_geomanta.pdf

Weather atlas. (2020). *Previsión meteorológica y clima mensual*. Obtenido de https://www.weather-atlas.com/es/ecuador/quito-clima

Zaitsev, V. (2021). Pluviómetro: ¿Cuál es el mejor del 2021? *El dulce hogar*, 62.

15. Anexos

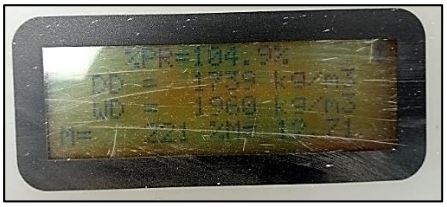
15.1 Taludes

15.1.1 Taludes antes de la simulación de lluvia



Anexo 1:Mezcla de arena con agua para compactar

Fuente: creación propia



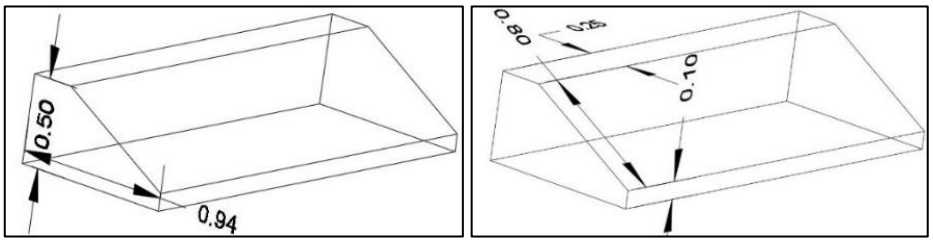
Anexo 2:Valores de compactación del densímetro nuclear

Fuente: creación propia



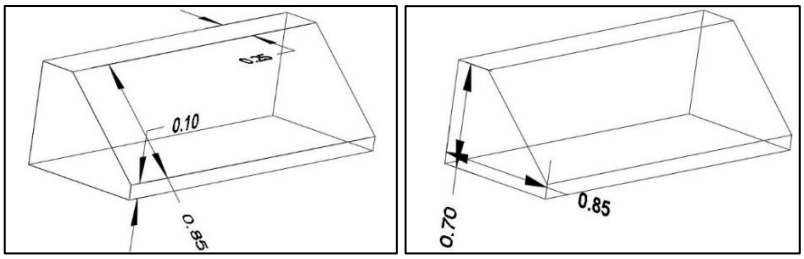
Anexo 3:Talud de 45° y 30°

Fuente: creación propia



Anexo 4:Dimensiones del Talud de 30°

Fuente: creación propia



Anexo 5:Dimensiones del Talud de 45°

Fuente: creación propia



Anexo 6: Clasificación de vetiver verde (vivo) y amarillo (muerto)

Fuente: creación propia



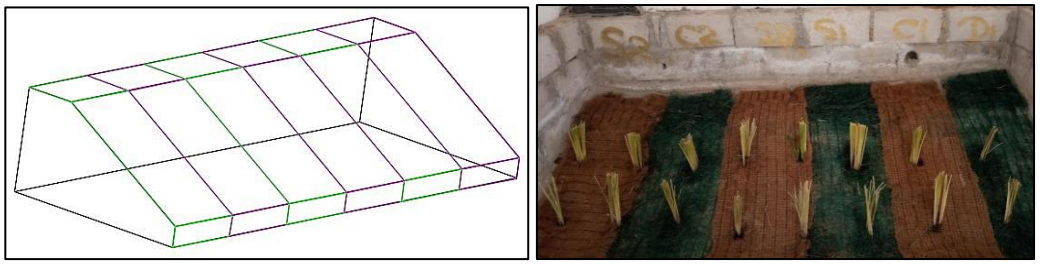
Anexo 7:Suelo fértil

Fuente: creación propia



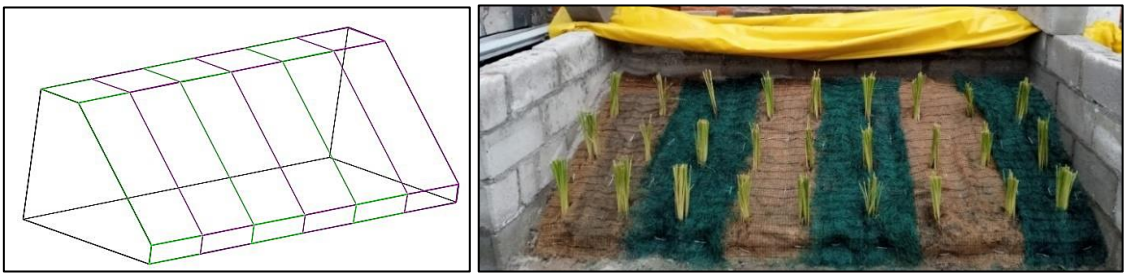
Anexo 8:Cultivo de vetiver

Fuente: creación propia



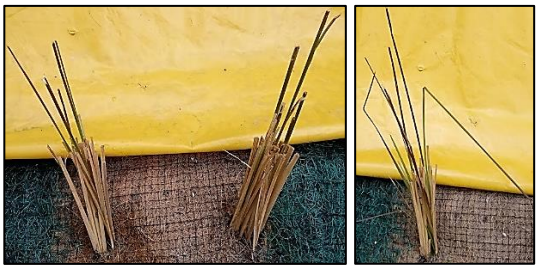
Anexo 9:Talud de 30° con geomanto y vetiver

Fuente: creación propia



Anexo 10:Talud de 45° con geomanto y vetiver

Fuente: creación propia



Anexo 11:Crecimiento del vetiver con el riego diario

Fuente: creación propia



Anexo 12:Calibración del simulador

Fuente: creación propia

15.1.2 Taludes después de la simulación de lluvia



Anexo 13:Simulación de lluvia

Fuente: creación propia



Anexo 14:Muestras de escorrentía y suelo desprendido del talud

Fuente: creación propia



Anexo 15:talud de 30° después de las simulaciones

Fuente: creación propia



Anexo 16:talud de 45° después de las simulaciones

Fuente: creación propia



Anexo 17:Crecimiento de vegetación alrededor del vetiver

Fuente: creación propia



Anexo 18: vetiver después de las simulaciones

Fuente: creación propia



Anexo 19:Medición y peso del vetiver después de las simulaciones

Fuente: creación propia

15.2 Geomantos

15.2.1 Geomanto GMAT VT400



Anexo 20:GMAT VT400

Fuente: creación propia

15.2.2 Geomanto GMAT DS310



Anexo 21:GMAT DS310

Fuente: creación propia

15.3 Registro diario del riego de taludes con el simulador de lluvia

15.3.1 Talud de 30°

Tabla 125: Día 1 de riego del talud de 30°

Fuente: creación propia

DIA 1 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo: 20/12/2021									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**
30°	T1	30	125,54	63,45	95,54	33,45	550	236	5144
	P1	81,05	193,81	84,96	112,76	3,91	670	427	4953
	T2	29,07	212,92	61,38	183,85	32,31	650	336	5044
	P2	29,88	127,88	33,67	98	3,79	425	182	5198
	T3	80,66	169,25	98,79	88,59	18,13	675	361	5019
	P3	79,78	388,49	238	308,71	158,22	450	160	5220

Tabla 126:Día 2 de riego del talud de 30°

Fuente: creación propia

DIA 2 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo: 28/12/2021									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**
30°	T1	65,7	111,9	75	46,20	9,3	675	361	5019
	P1	33,18	168,47	90	135,29	56,82	675	432	4948
	T2	29,87	140,85	63	110,98	33,13	600	286	5094
	P2	67,81	160	103	92,19	35,19	450	207	5173

	T3	31,3	71,02	40	39,72	8,7	400	86	5294
	P3	33	156,62	83	123,62	50	475	232	5148

Tabla 127:Día 3 de riego del talud de 30°

Fuente: creación propia

DIA 3 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo: 03/01/2022									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**
30°	T1	81	130,78	81,75	49,78	0,75	750	436	4944
	P1	31	131,65	74,48	100,65	43,48	500	257	5123
	T2	28	213,25	135,12	185,25	107,12	250	64	5316
	P2	68	168,43	106,91	100,43	38,91	400	157	5223
	T3	31	144,33	72,96	113,33	41,96	725	411	4969
	P3	32	112,12	60,10	80,12	28,1	400	157	5223

Tabla 128:Día 4 de riego del talud de 30°

Fuente: creación propia

DIA 4 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo: 06/01/2022									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**
30°	T1	81,44	101,00	83,00	19,56	1,56	825	511	4869
	P1	33,32	98,78	62,00	65,46	28,68	600	357	5023
	T2	30,28	82,91	54,00	52,63	23,72	350	36	5344
	P2	29,41	73,88	41,00	44,47	11,59	350	107	5273

	T3	31,06	61,73	41,00	30,67	9,94	350	36	5344
	P3	68,11	86,00	71,00	17,89	2,89	100	143	5237

Tabla 129:Día 5 de riego del talud de 30°

Fuente: creación propia

DIA 5 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo: 07/01/2022									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**
30°	T1	30,28	68,00	38,00	37,72	7,72	325	11	5369
	P1	29,41	244,00	160,00	214,59	130,59	500	257	5123
	T2	31,06	141,00	81,00	109,94	49,94	225	89	5291
	P2	68,11	81,00	49,00	12,89	19,11	200	43	5337
	T3	81,44	142,00	106,00	60,56	24,56	450	136	5244
	P3	33,32	105,00	64,00	71,68	30,68	700	457	4923

Tabla 130:Día 6 de riego del talud de 30°

Fuente: creación propia

DIA 6 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo: 11/01/2022									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**
30°	T1	31,10	74,55	44,29	43,45	13,19	650	336	5044
	P1	28,41	178,59	102,44	150,18	74,03	600	357	5023
	T2	29,95	59,81	42,08	29,86	12,13	600	286	5094
	P2	29,82	135,53	79,19	105,71	49,37	505	262	5118

	T3	67,76	105,96	78,99	38,20	11,23	400	86	5294
	P3	81,04	165,41	115,47	84,37	34,43	505	262	5118

Tabla 131:Día 7 de riego del talud de 30°

Fuente: creación propia

DIA 7 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo: 12/01/2022									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**
30°	T1	28,41	83,84	51,00	55,43	22,59	500	186	5194
	P1	29,82	157,08	89,00	127,26	59,18	500	257	5123
	T2	81,04	141,33	102,00	60,29	20,96	500	186	5194
	P2	67,76	79,73	71,00	11,97	3,24	250	7	5373
	T3	33,27	94,88	64,00	61,61	30,73	600	286	5094
	P3	30,81	52,84	37,00	22,03	6,19	350	107	5273

Tabla 132:Día 8 de riego del talud de 30°

Fuente: creación propia

DIA 8 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo: 13/01/2022									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**
30°	T1	30,00	125,54	63,45	95,54	33,45	670	356	5024
	P1	81,05	193,81	84,96	112,76	3,91	670	427	4953
	T2	29,07	212,92	61,38	183,85	32,31	600	286	5094
	P2	29,88	127,88	33,67	98,00	3,79	425	182	5198

	T3	80,66	169,25	98,79	88,59	18,13	450	136	5244
	P3	79,78	388,49	238,00	308,71	158,22	450	207	5173

Tabla 133:Día 9 de riego del talud de 30°

Fuente: creación propia

DIA 9 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo: 14/01/2022									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**
30°	T1	81,00	130,78	81,75	49,78	0,75	750	436	4944
	P1	31,00	131,65	74,48	100,65	43,48	500	257	5123
	T2	28,00	213,25	135,12	185,25	107,12	250	64	5316
	P2	68,00	168,43	106,91	100,43	38,91	400	157	5223
	T3	31,00	144,33	72,96	113,33	41,96	725	411	4969
	P3	32,00	112,12	60,10	80,12	28,1	400	157	5223

Tabla 134:Día 10 de riego del talud de 30°

Fuente: creación propia

DIA 10 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo: 14/01/2022									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**
30°	T1	30,28	68,00	38,00	37,72	7,72	325	11	5369
	P1	29,41	244,00	160,00	214,59	130,59	500	257	5123
	T2	31,06	141,00	81,00	109,94	49,94	225	89	5291
	P2	68,11	81,00	49,00	12,89	19,11	200	43	5337

	T3	81,44	142,00	106,00	60,56	24,56	450	136	5244
	P3	33,32	105,00	64,00	71,68	30,68	700	457	4923

Tabla 135:Día 11 de riego del talud de 30°

Fuente: creación propia

DIA 11 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo: 15/01/2022									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**
30°	T1	65,7	111,9	75	46,20	9,3	675	361	5019
	P1	33,18	168,47	90	135,29	56,82	675	432	4948
	T2	29,87	140,85	63	110,98	33,13	600	286	5094
	P2	67,81	160	103	92,19	35,19	450	207	5173
	T3	31,3	71,02	40	39,72	8,7	400	86	5294
	P3	33	156,62	83	123,62	50	475	232	5148

Tabla 136:Día 12 de riego del talud de 30°

Fuente: creación propia

DIA 12 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 30°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo: 15/01/2022									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**
30°	T1	81,44	101,00	83,00	19,56	1,56	825	511	4869
	P1	33,32	98,78	62,00	65,46	28,68	600	357	5023
	T2	30,28	82,91	54,00	52,63	23,72	350	36	5344
	P2	29,41	73,88	41,00	44,47	11,59	350	107	5273

	T3	31,06	61,73	41,00	30,67	9,94	350	36	5344
	P3	68,11	86,00	71,00	17,89	2,89	100	143	5237

15.3.2 Talud de 45°

Tabla 137: Día 1 de riego del talud de 45°

Fuente: creación propia

DIA 1 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 45°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo: 20/12/2021									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**
45°	T1	80,71	197,59	110,18	116,88	29,47	670	356	5024
	P1	78,25	232,22	179,57	153,97	101,32	700	457	4923
	T2	72,75	194,36	87,48	121,61	14,73	600	286	5094
	P2	79,49	121,70	96,61	42,21	17,12	350	107	5273
	T3	79,78	158,61	106,84	78,83	27,06	450	136	5244
	P3	29,87	187,87	68,66	158	38,79	750	507	4873

Tabla 138:Día 2 de riego del talud de 45°

Fuente: creación propia

DIA 2 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 45°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo: 28/12/2021									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**
45°	T1	30,73	104,85	41	74,12	10,27	500	186	5194
	P1	29,88	249,06	138	219,18	108,12	725	482	4898
	T2	31,63	242,50	137	210,87	105,37	675	361	5019

	P2	28,37	129,03	59	100,66	30,63	300	57	5323
	T3	31,02	244,27	138	213,25	106,98	650	336	5044
	P3	29	330,00	226	301	197	775	532	4848

Tabla 139:Día 3 de riego del talud de 45°

Fuente: creación propia

DIA 3 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 45°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo: 03/01/2022									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**
45°	T1	33	142,38	80,93	109,38	47,93	700	386	4994
	P1	30	155,88	79,21	125,88	49,21	775	532	4848
	T2	33	107,25	41,56	74,25	8,56	700	386	4994
	P2	30	271,08	120,29	241,08	90,29	700	457	4923
	T3	31	104,55	54,22	73,55	23,22	700	386	4994
	P3	29	191,51	92,08	162,51	63,08	700	457	4923

Tabla 140:Día 4 de riego del talud de 45°

Fuente: creación propia

DIA 4 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 45°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo: 06/01/2022									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**
45°	T1	33,57	71,73	51,00	38,16	17,43	325	11	5369
	P1	32,12	229,87	145,00	197,75	112,88	500	257	5123

	T2	30,18	90,00	51,00	59,82	20,82	600	286	5094
	P2	31,49	227,17	143,00	195,68	111,51	700	457	4923
	T3	31,56	69,00	40,00	37,44	8,44	350	36	5344
	P3	28,85	386,40	243,00	357,55	214,15	450	207	5173

Tabla 141:Día 5 de riego del talud de 45°

Fuente: creación propia

DIA 5 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 45°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo: 07/01/2022									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**
45°	T1	30,18	92,00	60,00	61,82	29,82	510	196	5184
	P1	31,49	178,00	97,00	146,51	65,51	700	457	4923
	T2	33,57	158,00	104,00	124,43	70,43	450	136	5244
	P2	32,12	53,00	30,00	20,88	2,12	700	457	4923
	T3	31,56	252,00	139,00	220,44	107,44	350	36	5344
	P3	28,85	223,00	127,00	194,15	98,15	510	267	5113

Tabla 142:Día 6 de riego del talud de 45°

Fuente: creación propia

DIA 6 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 45°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo: 11/01/2022									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**
45°	T1	33,03	113,91	64,54	80,88	31,51	600	286	5094
	P1	31,35	124,05	72,33	92,70	40,98	600	357	5023

	T2	31,72	90,89	53,90	59,17	22,18	400	86	5294
	P2	29,03	109,52	58,19	80,49	29,16	400	157	5223
	T3	30,81	103,12	61,82	72,31	31,01	400	86	5294
	P3	33,27	250,71	148,28	217,44	115,01	350	107	5273

Tabla 143:Día 7 de riego del talud de 45°

Fuente: creación propia

DIA 7 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 45°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo: 12/01/2022									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**
45°	T1	33,03	61,87	41,00	28,84	7,97	350	36	5344
	P1	31,72	200,73	140,00	169,01	108,28	510	267	5113
	T2	31,10	201,58	127,00	170,48	95,90	300	14	5366
	P2	29,03	85,27	50,00	56,24	20,97	250	7	5373
	T3	29,95	210,03	132,00	180,08	102,05	500	186	5194
	P3	31,35	93,63	53,00	62,28	21,65	400	157	5223

Tabla 144:Día 8 de riego del talud de 45°

Fuente: creación propia

DIA 8 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 45°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo: 13/01/2022									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**
45°	T1	80,71	197,59	110,18	116,88	29,47	550	236	5144
	P1	78,25	232,22	179,57	153,97	101,32	700	457	4923

	T2	72,75	194,36	87,48	121,61	14,73	650	336	5044
	P2	79,49	121,70	96,61	42,21	17,12	350	107	5273
	T3	79,78	158,61	106,84	78,83	27,06	675	361	5019
	P3	29,87	187,87	68,66	158,00	38,79	750	507	4873

Tabla 145:Día 9 de riego del talud de 45°

Fuente: creación propia

DIA 9 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 45°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo: 14/01/2022									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**
45°	T1	33,00	142,38	80,93	109,38	47,93	700	386	4994
	P1	30,00	155,88	79,21	125,88	49,21	775	532	4848
	T2	33,00	107,25	41,56	74,25	8,56	700	386	4994
	P2	30,00	271,08	120,29	241,08	90,29	700	457	4923
	T3	31,00	104,55	54,22	73,55	23,22	700	386	4994
	P3	29,00	191,51	92,08	162,51	63,08	700	457	4923

Tabla 146:Día 10 de riego del talud de 45°

Fuente: creación propia

DIA 10 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 45°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo: 14/01/2022									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**
45°	T1	30,18	92,00	60,00	61,82	29,82	510	196	5184
	P1	31,49	178,00	97,00	146,51	65,51	700	457	4923

	T2	33,57	158,00	104,00	124,43	70,43	450	136	5244
	P2	32,12	53,00	30,00	20,88	2,12	700	457	4923
	T3	31,56	252,00	139,00	220,44	107,44	350	36	5344
	P3	28,85	223,00	127,00	194,15	98,15	510	267	5113

Tabla 147:Día 11 de riego del talud de 45°

Fuente: creación propia

DIA 11 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 45°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo: 15/01/2022									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**
45°	T1	30,73	104,85	41	74,12	10,27	500	186	5194
	P1	29,88	249,06	138	219,18	108,12	725	482	4898
	T2	31,63	242,50	137	210,87	105,37	675	361	5019
	P2	28,37	129,03	59	100,66	30,63	300	57	5323
	T3	31,02	244,27	138	213,25	106,98	650	336	5044
	P3	29	330,00	226	301	197	775	532	4848

Tabla 148:Día 12 de riego del talud de 45°

Fuente: creación propia

DIA 12 DE RIEGO EN TALUD CON INCLINACIÓN DE 45°									
Intensidad (INAMHI, Abril 2011): 372,9 mm									
Intensidad del ensayo durante 12 días: 31,075 mm/día									
Fecha del ensayo: 15/01/2022									
Precipitación: 5,38 Lt - 5380 ml									
Altura de caída de gota: 50 cm									
Energía cinética: 6864,01 J/m2									
Talud	**Muestra**	**Peso cápsula (gr)**	**Peso cápsula + suelo húmedo (gr)**	**Peso cápsula + suelo seco (gr)**	**Peso suelo erosionado húmedo (gr)**	**Peso 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)**
45°	T1	33,57	71,73	51,00	38,16	17,43	325	11	5369
	P1	32,12	229,87	145,00	197,75	112,88	500	257	5123

T2	30,18	90,00	51,00	59,82	20,82	600	286	5094
P2	31,49	227,17	143,00	195,68	111,51	700	457	4923
T3	31,56	69,00	40,00	37,44	8,44	350	36	5344
P3	28,85	386,40	243,00	357,55	214,15	450	207	5173

15.4 Infiltración, escorrentía y erosión acumulada

15.4.1 Infiltración acumulada

Tabla 149:Infiltración acumulada

Fuente: creación propia

DÍAS	INFILTRACIÓN ACUMULADA 30° (PERMANENTE)	INFILTRACIÓN ACUMULADA 30° (TEMPORAL)	INFILTRACIÓN ACUMULADA 45° (PERMANENTE)	INFILTRACIÓN ACUMULADA 45° (TEMPORAL)
1	5123,67	5069,00	5023,00	5120,67
2	10213,33	10204,67	10046,00	10206,33
3	15403,00	15281,00	14944,00	15200,33
4	20580,67	20466,67	20017,00	20469,33
5	25708,33	25768,00	25003,33	25726,67
6	30794,67	30912,00	30176,33	30954,00
7	36051,00	36072,67	35412,67	36255,33
8	41159,00	41193,33	40435,67	41324,33
9	46348,67	46269,67	45333,67	46318,33
10	51476,33	51571,00	50320,00	51575,67
11	56566,00	56706,67	55343,00	56661,33
12	61743,67	61892,33	60416,00	61930,33

15.4.2 Escorrentía acumulada

Tabla 150:Escorrentía acumulada

Fuente: creación propia

DÍAS	ESCORRENTÍA ACUMULADA 30° (PERMANENTE)	ESCORRENTÍA ACUMULADA 30° (TEMPORAL)	ESCORRENTÍA ACUMULADA 45° (PERMANENTE)	ESCORRENTÍA ACUMULADA 45° (TEMPORAL)
1	515,00	625,00	600,00	573,33
2	1048,33	1183,33	1200,00	1181,67
3	1481,67	1758,33	1925,00	1881,67
4	1831,67	2266,67	2475,00	2306,67
5	2298,33	2600,00	3111,67	2743,33
6	2835,00	3150,00	3561,67	3210,00
7	3201,67	3683,33	3948,33	3593,33

8	3716,67	4256,67	4548,33	4218,33
9	4150,00	4831,67	5273,33	4918,33
10	4616,67	5165,00	5910,00	5355,00
11	5150,00	5723,33	6510,00	5963,33
12	5500,00	6231,67	7060,00	6388,33

15.4.3 Erosión acumulada

Tabla 151:Erosión acumulada

Fuente: creación propia

DÍAS	EROSIÓN ACUMULADA 30° (PERMANENTE)	EROSIÓN ACUMULADA 30° (TEMPORAL)	EROSIÓN ACUMULADA 45° (PERMANENTE)	EROSIÓN ACUMULADA 45° (TEMPORAL)
1	55,31	27,96	52,41	23,75
2	102,64	45,01	164,33	97,96
3	139,47	94,95	231,85	124,53
4	153,86	106,69	378,03	140,09
5	213,99	134,10	433,29	209,32
6	266,60	146,28	495,01	237,56
7	289,47	171,04	545,31	306,20
8	344,77	199,00	597,72	329,95
9	381,60	248,95	665,25	356,52
10	441,73	276,35	720,51	425,75
11	453,47	296,49	736,07	537,95
12	467,86	308,23	882,25	553,51

15.4.4 Datos de Infiltración, escorrentía y erosión acumulada (Villalba, 2021) adaptadas a la precipitación de esta investigación

Se interpolaron los resultados de infiltración, escorrentía y erosión acumulada de los geomantos permanentes (GMAT DS310) y temporales (GMAT VT400) de la tesis de mis compañeros Said Onofa y Rosario Villalba (Villalba, 2021), al valor de precipitación de esta investigación [3.42 lt (Villalba, 2021) a 5.38 lt de precipitación] para poder hacer un análisis más a fondo del comportamiento de los geomantos con vetiver vs solo geomantos frente al control de erosión.

Tabla 152:Infiltración acumulada (Villalba, 2021)

Fuente: creación propia

Infiltración (ml)				
Talud	permanente		temporal	
	precipitación (lt)		precipitación (lt)	
	3,42	5,38	3,42	5,38
30°	30785	48427,87	32500	51125,73
45°	27675	4353,53	31500	49552,63

Tabla 153:Escorrentía acumulada (Villalba, 2021)

Fuente: creación propia

Escorrentía (ml)				
Talud	permanente		temporal	
	precipitación (lt)		precipitación (lt)	
	3,42	5,38	3,42	5,38
30°	12185	19168,22	9255	14559,04
45°	14995	23588,63	10855	17075,99

Tabla 154:Erosión acumulada (Villalba, 2021)

Fuente: creación propia

Erosión (gr)				
Talud	permanente		temporal	
	precipitación (lt)		precipitación (lt)	
	3,42	5,38	3,42	5,38
30°	1411,96	2221,15	1099,67	1729,89
45°	1616,73	2543,28	1189,04	1870,48

15.4.5 Datos de Infiltración, escorrentía y erosión acumulada (Escobar M. , 2014) adaptadas a la precipitación de esta investigación

Se interpolaron los resultados de infiltración, escorrentía y erosión acumulada de la tesis de Manuel Escobar realizada en Bogotá en el 2014 con un geomanto temporal con vetiver (Escobar M. , 2014), al valor de precipitación de esta investigación [3.20 lt (Escobar M. , 2014) a 5.38 lt de precipitación] para poder hacer un análisis más a fondo del comportamiento de los geomantos temporales con vetiver frente al control de erosión.

Tabla 155:Infiltración acumulada (Escobar M. , 2014)

Fuente: creación propia

Erosión (gr)		
Talud	temporal + vetiver	
	precipitación (lt)	
	3,20	5,38
30°	190,51	320,29
45°	362,87	610,08

Tabla 156:Escorrentía acumulada (Escobar M. , 2014)

Fuente: creación propia

Escorrentía (ml)		
Talud	temporal + vetiver	
	precipitación (lt)	
	3,20	5,38
30°	3810,18	6405,86
45°	3886,38	6533,98

Tabla 157:Erosión acumulada (Escobar M. , 2014)

Fuente: creación propia

Infiltración (ml)		
Talud	temporal + vetiver	
	precipitación (lt)	
	3,20	5,38
30°	38482,79	64699,19
45°	39252,44	65993,17

15.5 Gráficas

15.5.1 Gráficas de infiltración vs días

15.5.1.1 Talud de 30°

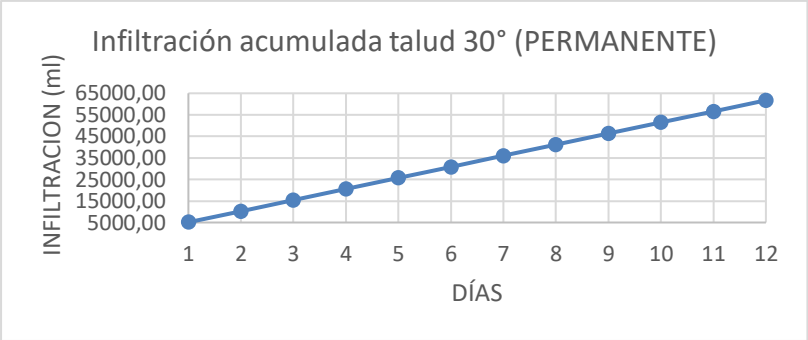


Ilustración 64:Infiltración acumulada del talud de 30° con geomanto permanente

Fuente: creación propia

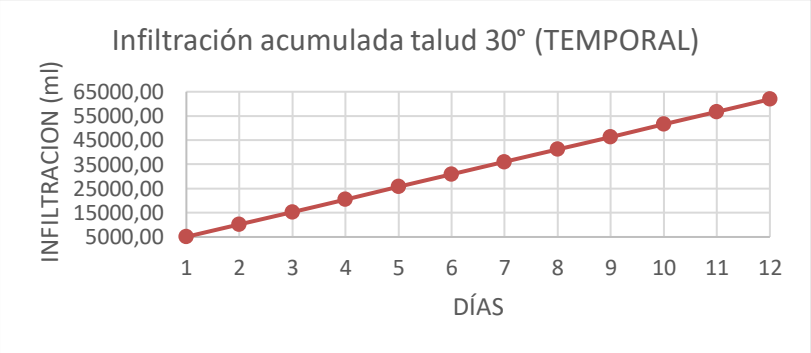


Ilustración 65:Infiltración acumulada del talud de 30° con geomanto temporal

Fuente: creación propia

15.5.2 Talud de 45°

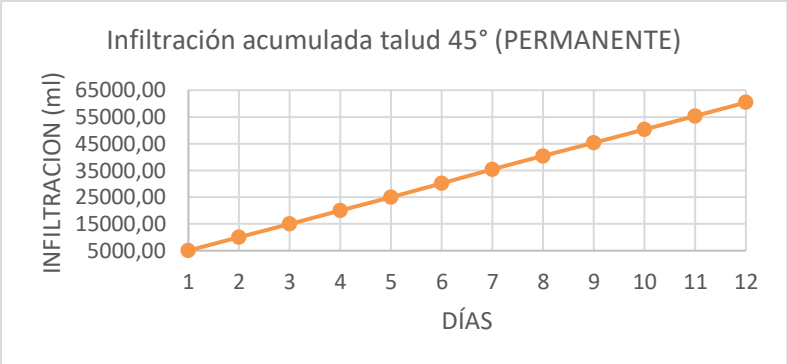


Ilustración 66:Infiltración acumulada del talud de 45° con geomanto permanente

Fuente: creación propia

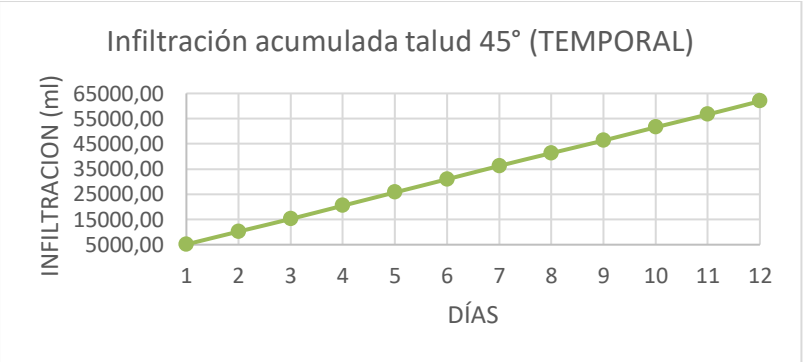


Ilustración 67:Infiltración acumulada del talud de 45° con geomanto temporal

Fuente: creación propia

15.6 Graficas de escorrentía vs días

15.6.1 Talud de 30°

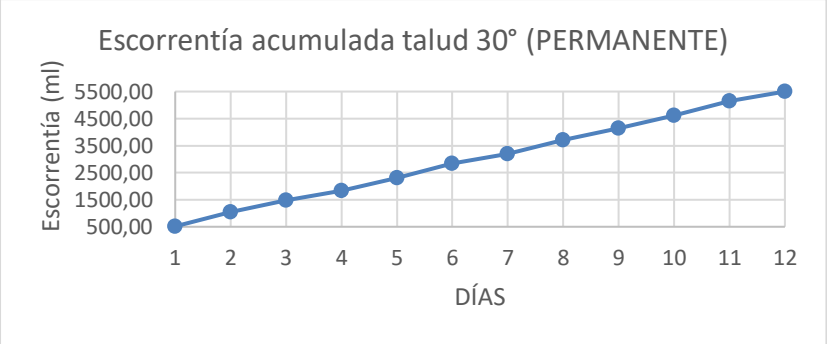


Ilustración 68:Escorrentía acumulada del talud de 30° con geomanto permanente

Fuente: creación propia

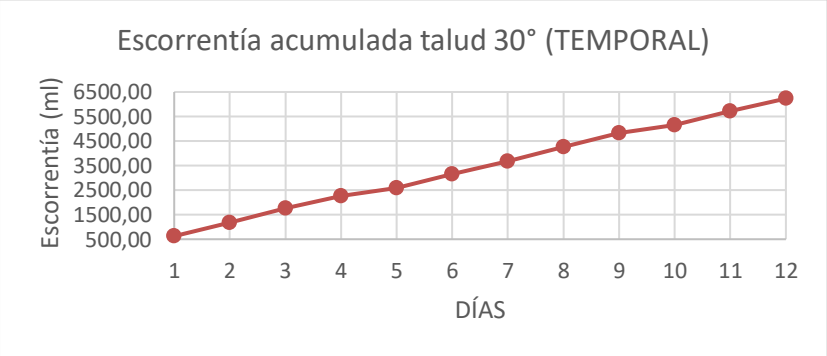


Ilustración 69:Escorrentía acumulada del talud de 30° con geomanto temporal

Fuente: creación propia

15.6.2 Talud de 45°

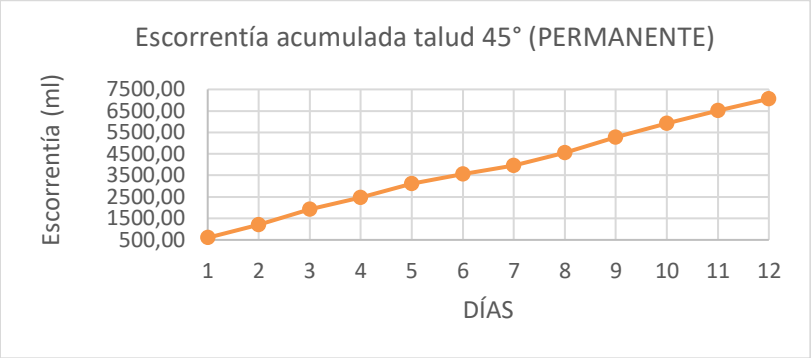


Ilustración 70:Escorrentía acumulada del talud de 45° con geomanto permanente

Fuente: creación propia

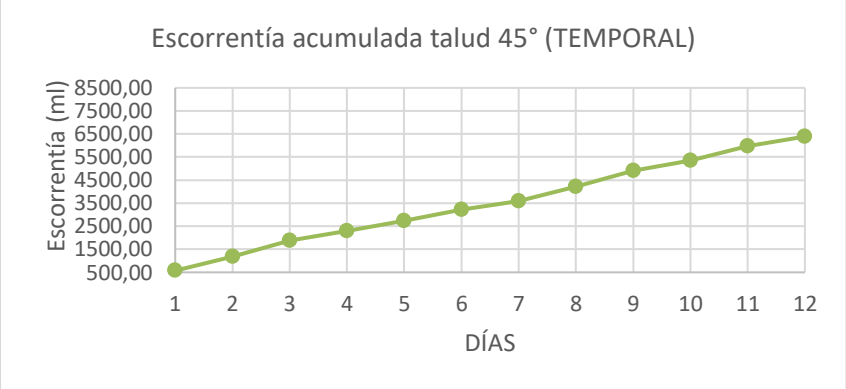


Ilustración 71:Escorrentía acumulada del talud de 45° con geomanto temporal

Fuente: creación propia

15.7 Graficas de erosión vs días

15.7.1 Talud de 30°

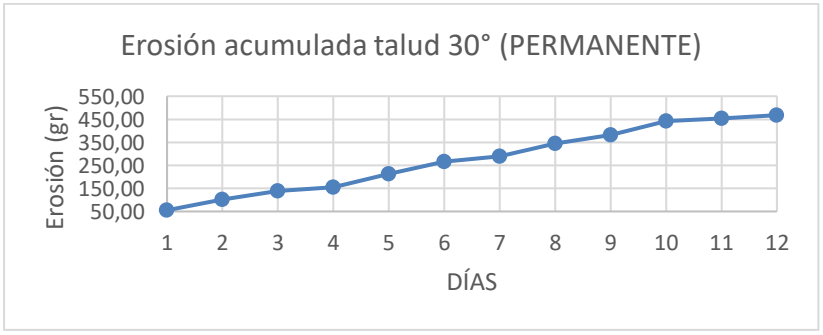


Ilustración 72:Erosión acumulada del talud de 30° con geomanto permanente

Fuente: creación propia

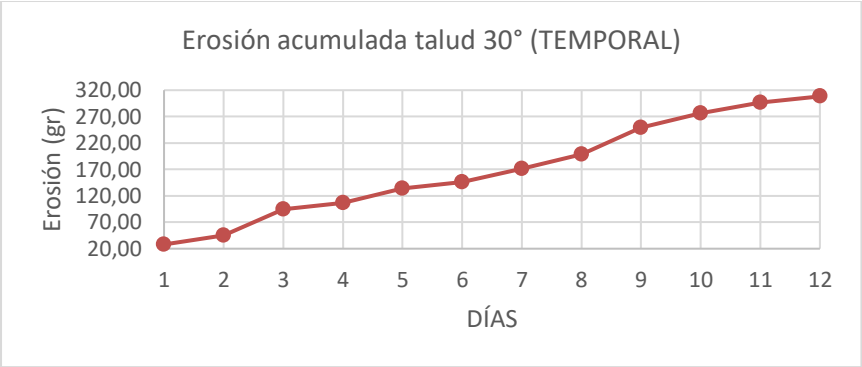


Ilustración 73:Erosión acumulada del talud de 30° con geomanto temporal

Fuente: creación propia

15.7.2 Talud de 45°

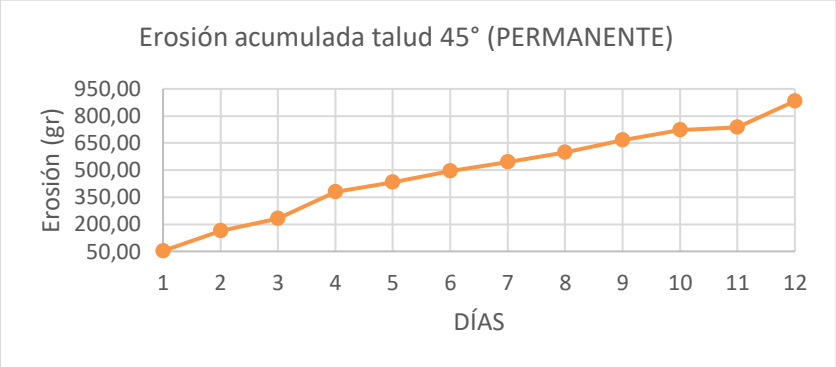


Ilustración 74:Erosión acumulada del talud de 45° con geomanto permanente

Fuente: creación propia

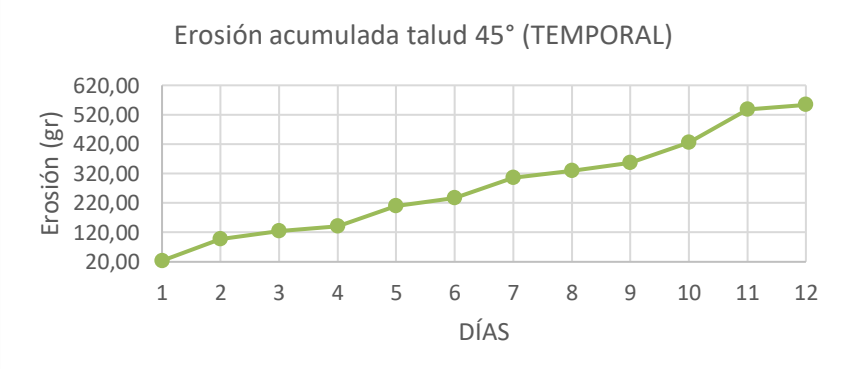


Ilustración 75:Erosión acumulada del talud de 45° con geomanto temporal

Fuente: creación propia

15.8 Cronograma

El cronograma fue hecho en Project MS colocando los recursos y costos de cada una de las actividades realizadas a lo largo de la investigación.

Tabla 158:cronograma

Fuente: creación propia

EDT	Nombre de tárea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	Nombres de los recursos	Costo
1	**Proyecto de titulación**	**119 días**	**lun 9/8/21**	**jue 20/1/22**			**$263,00**
1.1	**Obtención y movilización de muestras de suelo**	**4 días**	**lun 9/8/21**	**jue 12/8/21**			**$68,00**
1.1.1	Obtención de muestras de suelo de la ferretería	2 días	lun 9/8/21	mar 10/8/21		arena de San Antonio de Pichincha (2.5 m3)	$58,00
1.1.2	Llevar muestras de suelos al Laboratorio de Suelos de la PUCE	2 días	mié 11/8/21	jue 12/8/21	3	arena de San Antonio de Pichincha (2.5 m3)	$10,00
1.1.3	fin de fase	0 días	jue 12/8/21	jue 12/8/21	4		$0,00
1.2	**Ensayos de suelo**	**11 días**	**vie 13/8/21**	**vie 27/8/21**			**$28,00**
1.2.1	Ensayo ASTM D 2216 (Contenido de humedad)	2 días	vie 13/8/21	lun 16/8/21	5	arena; horno de secado; cápsulas	$7,00
1.2.2	Resultados de ASTM D 2216	1 día	mar 17/8/21	mar 17/8/21	7		$0,00
1.2.3	Ensayo ASTM D 422 (tamaño de partículas)	2 días	mié 18/8/21	jue 19/8/21	8	arena; tamiz N°(10;40 y 200);vaso metálico; horno de secado	$7,00
1.2.4	Resultados de ASTM D 422	1 día	vie 20/8/21	vie 20/8/21	9		$0,00
1.2.5	Ensayo ASTM D 2487 (granulometría)	2 días	lun 23/8/21	mar 24/8/21	10	arena; tamiz N°(10;40 y 200);vaso metálico; horno de secado	$7,00
1.2.6	Resultados de ASTM D 2487	1 día	mié 25/8/21	mié 25/8/21	11		$0,00
1.2.7	Ensayo ASTM D 6938 (Proctor estándar)	1 día	jue 26/8/21	jue 26/8/21	12	arena; cilindro y martillo del Proctor estándar y horno de secado	$7,00
1.2.8	Resultados de ASTM D 6938	1 día	vie 27/8/21	vie 27/8/21	13		$0,00
1.2.9	fin de fase	0 días	vie 27/8/21	vie 27/8/21	14		$0,00
1.3	**Taludes modelados**	**2 días**	**lun 30/8/21**	**mar 31/8/21**			**$40,00**
1.3.1	Obtención del sapo compactador	1 día	lun 30/8/21	lun 30/8/21	15	sapo compactador	$40,00
1.3.2	Elaboración de talud modelado de 30°	1 día	lun 30/8/21	lun 30/8/21	15	arena; sapo compactador; agua; densímetro nuclear	$0,00
1.3.3	Verificación de compactación con densímetro nuclear en el talud de 30°	1 día	lun 30/8/21	lun 30/8/21	15	densímetro nuclear	$0,00
1.3.4	Perfilado de talud modelado de 30°	1 día	mar 31/8/21	mar 31/8/21	19	nivel, tablas	$0,00
1.3.5	Elaboración de talud modelado de 45°	1 día	lun 30/8/21	lun 30/8/21	15	arena; sapo compactador; agua; densímetro nuclear	$0,00
1.3.6	Verificación de compactación con densímetro nuclear en el talud de 45°	1 día	lun 30/8/21	lun 30/8/21	15	densímetro nuclear	$0,00
1.3.7	Perfilado de talud modelado de 45°	1 día	mar 31/8/21	mar 31/8/21	22	nivel, tablas	$0,00
1.3.8	fin de fase	0 días	mar 31/8/21	mar 31/8/21	23		$0,00
1.4	**Obtención de Geomanto y Vetiver**	**2 días**	**mié 1/9/21**	**jue 2/9/21**			**$101,00**
1.4.1	Obtención de geomantos	1 día	mié 1/9/21	mié 1/9/21	24	geomanto temporal GMAT VT400; geomanto permanente GMAT DS310	$10,00

1.4.2	Obtención de tierra de cacao y humus	2 días	mié 1/9/21	jue 2/9/21	24	tierra de cacao; humus	$10,00
1.4.3	Obtención de Vetiver	2 días	mié 1/9/21	jue 2/9/21	24	brotes de Vetiver	$81,00
1.4.4	Obtención del simulador de lluvia	1 día	mié 1/9/21	mié 1/9/21	24	simulador de lluvia	$0,00
1.4.5	fin de fase	0 días	mié 1/9/21	mié 1/9/21	29		$0,00
1.5	**Ensayo de germinación**	**3 días**	**jue 2/9/21**	**lun 6/9/21**			**$26,00**
1.5.1	Mezcla de tierra de cacao con humus	1 día	jue 2/9/21	jue 2/9/21	30	tierra de cacao; humus	$3,00
1.5.2	Clasificación de los brotes de vetiver	1 día	jue 2/9/21	jue 2/9/21	30	brotes de Vetiver	$3,00
1.5.3	Elaboración de agujeros de 20 cm de diámetro en el talud de 45°	1 día	jue 2/9/21	jue 2/9/21	30	pala de siembra; combo; estaca	$3,00
1.5.4	Cultivo del Vetiver en los agujeros en el talud de 45°	1 día	jue 2/9/21	jue 2/9/21	30	brotes de Vetiver; tierra fértil	$3,00
1.5.5	Recorte y colocación de franjas de geomantos en el talud de 45°	1 día	vie 3/9/21	vie 3/9/21	35	geomanto permanente GMAT DS310; geomanto temporal GMAT VT400; tijera; metro	$0,00
1.5.6	Sujección de franjas de geomantos con anclajes en el talud de 45°	1 día	vie 3/9/21	vie 3/9/21	35	anclajes; combo	$3,00
1.5.7	Elaboración de agujeros de 20 cm de diámetro en el talud de 30°	1 día	vie 3/9/21	vie 3/9/21	35	pala de siembra; combo; estaca	$3,00
1.5.8	Cultivo del Vetiver en los agujeros en el talud de 30°	1 día	vie 3/9/21	vie 3/9/21	35	brotes de Vetiver; tierra fértil	$3,00
1.5.9	Recorte y colocación de franjas de geomantos en el talud de 30°	1 día	lun 6/9/21	lun 6/9/21	39	geomanto permanente GMAT DS310; geomanto temporal GMAT VT400; tijera; metro	$0,00
1.5.10	Sujección de franjas de geomantos con anclajes en el talud de 30°	1 día	lun 6/9/21	lun 6/9/21	39	anclajes; combo	$5,00
1.5.11	fin de fase	0 días	lun 6/9/21	lun 6/9/21	41		$0,00
1.6	**Regar vetiver**	**60 días**	**mar 7/9/21**	**lun 29/11/21**			**$0,00**
1.6.1	Regar los taludes	60 días	mar 7/9/21	lun 29/11/21	42	agua	$0,00
1.6.2	fin de fase	0 días	lun 29/11/21	lun 29/11/21	44		$0,00
1.7	**Ensayo de precipitación**	**25 días**	**mar 30/11/21**	**lun 3/1/22**			**$0,00**
1.7.1	Calibración del simulador de lluvia	1 día	mar 30/11/21	mar 30/11/21	45	simulador de lluvia; agua	$0,00
1.7.2	Ensayo ASTM D 7101 (precipitación simulada en el talud de 45°)	12 días	mié 1/12/21	jue 16/12/21	47	simulador de lluvia; agua	$0,00
1.7.3	Recolección y peso de sedimentos del talud de 45°	12 días	vie 17/12/21	lun 3/1/22	48	sedimentos; recolector; tamiz N° 200; probeta	$0,00
1.7.4	Ensayo ASTM D 7101 (precipitación simulada en el talud de 30°)	12 días	mar 30/11/21	mié 15/12/21	45	simulador de lluvia; agua	$0,00
1.7.5	Recolección y peso de sedimentos del talud de 30°	12 días	jue 16/12/21	vie 31/12/21	50	sedimentos; recolector; tamiz N° 200; probeta	$0,00
1.7.6	fin de fase	0 días	vie 31/12/21	vie 31/12/21	51		$0,00
1.8	**Resultado del ensayo de precipitación**	**13 días**	**lun 3/1/22**	**mié 19/1/22**			**$0,00**
1.8.1	Resultados de ASTM D 7101 (precipitación simulada en el talud de 45°)	12 días	mar 4/1/22	mié 19/1/22	49	datos; cálculos; resultados	$0,00

1.8.2	Resultados de ASTM D 7101 (precipitación simulada en el talud de 30°)	12 días	lun 3/1/22	mar 18/1/22	51	datos; cálculos; resultados	$0,00
1.8.3	fin de fase	0 días	mar 18/1/22	mar 18/1/22	55		$0,00
1.9	**Resultado del ensayo de germinación**	**2 días**	**mié 19/1/22**	**jue 20/1/22**			**$0,00**
1.9.1	Medición de la raíz del vetiver del talud de 45°	1 día	mié 19/1/22	mié 19/1/22	56	cinta métrica	$0,00
1.9.2	Medición de la longitud del brote del vetiver del talud de 45°	1 día	mié 19/1/22	mié 19/1/22	56	cinta métrica	$0,00
1.9.3	Resultados de ASTM D 7233 (germinación en el talud de 45°)	1 día	jue 20/1/22	jue 20/1/22	59	datos; cálculos; resultados	$0,00
1.9.4	Medición de la raíz del vetiver del talud de 30°	1 día	mié 19/1/22	mié 19/1/22	56	cinta métrica	$0,00
1.9.5	Medición de la longitud del brote del vetiver del talud de 30°	1 día	mié 19/1/22	mié 19/1/22	56	cinta métrica	$0,00
1.9.6	Resultados de ASTM D 7233 (germinación en el talud de 30°)	1 día	jue 20/1/22	jue 20/1/22	62	datos; cálculos; resultados	$0,00
1.9.7	fin de fase	0 días	jue 20/1/22	jue 20/1/22	63		$0,00