

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y
PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCION DE RIESGOS EN EL CANTÓN
GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE
MORAZÁN**

PRESENTADO POR:

AMAYA CAÑAS, HUGO ORLANDO

CISNEROS MEJIA, JOSÉ OSCAR

JIMÉNEZ CHÁVEZ, CARLOS FERNANDO

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA

NOVIEMBRE 2011

SAN MIGUEL, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

Ing. Mario Nieto Lovo

VICERECTOR ACADÉMICO:

Profa. Ana María Glower de Alvarado

SECRETARIA GENERAL:

Dra. Ana Leticia de Amaya

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

DECANO:

Lic. Cristóbal Ríos

VICE DECANO:

Lic. Carlos Alexander Díaz

SECRETARIO INTERINO:

Lic. Fernando Pineda Pastor

JEFE DE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA:

Ing. Uvin Edgardo Zúniga

TRABAJO DE GRADUACION APROBADO POR:

DOCENTE DIRECTOR

ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO

COORDINADOR DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

ING. MILAGRO ROMERO DE GARCIA

AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar, queremos agradecer a nuestro Docente Director Ing. Aguirre Gallo por el interés que tuvo en la ejecución de éste trabajo. Agradecemos a los ingenieros Guillermo Moya, Rigoberto López y Milagro de García por las recomendaciones y la asesoría brindada, A Don Silvio Argueta de Protección Civil de Morazán, a la ADESCO de la comunidad y a la misma comunidad por su colaboración y apoyo en ésta investigación.

HUGO: dedico el triunfo a DIOS TODO PODEROSO por darme la oportunidad de alcanzar una de mis metas, se que sin su apoyo y fortaleza me hubiese sido imposible llegar hasta aquí.

A mis padres Vilma de Amaya y José Amaya por el apoyo, amor, sin condiciones ni medida. A mis hermanos Carlos Amaya y Walter Amaya por la comprensión y apoyo incondicional que sirvió de motivación. A mis compañeros Oscar y Fernando por su gran esfuerzo y dedicación en el desarrollo de nuestro trabajo de graduación. A mi familia y amigos.

OSCAR: agradezco a mis Padres María Dolores Mejía y Carlos Humberto Cisneros y al resto de mi familia (Alex, Carlos y Chinda), por el apoyo brindado en toda mi vida. También agradezco a mi compañera Erenia Miladick Pereira y a su Familia por su apoyo brindado en esta investigación, y por ultimo a mis compañeros Hugo y Fernando por hacerle frente y no decaer en todo este proceso.

FERNANDO: A mi familia, mi mamá Lidia Concepción Chávez, mi abuela Mélida Romero, a mis hermanos Nelson y Mélida por los ánimos brindados y por estar siempre conmigo. Agradezco a mis compañeros Hugo y Oscar por el ímpetu demostrado en todo este proceso. A todos aquellos que han ayudado directa e indirectamente a que se completara éste trabajo, así como los guerreros del Heavy Metal ¡Los saludo!.

INDICE.

Contenido	Pagina
INTRODUCCIÓN	XX
- CAPITULO 1	1
1.0 ANTEPROYECTO	2
1.1 Planteamiento del problema	2
1.1.1 Antecedentes	2
1.1.2 Enunciado del problema	7
1.1.3 Justificación	8
1.2 Objetivos	9
1.2.1 General	9
1.2.2 Específicos	9
1.3 Delimitaciones	10
1.3.1 Alcances	10
1.3.2 Limitaciones	11
1.4 Metodología	12
1.4.1 Etapas de la metodología	12
1.4.1.1 Planteamiento del problema	12
1.4.1.2 Reconocimiento e identificación del sitio	13
1.4.1.3 Levantamiento de información	13
1.4.1.4 Análisis e interpretación de la información	19
1.4.1.5 Presentación de resultados	19
- CAPITULO 2	
2.0 MARCO TEORICO	20
2.1 Movimientos de Ladera	21
2.1.1 Nomenclatura de un talud o ladera	21
2.1.2 Nomenclatura de los procesos de movimiento	22
2.1.3 Etapas en el proceso de falla	25
2.1.4 Movimientos de masa	26
2.1.5 Clasificación de los movimientos de masa	27
2.1.5.1 Caído	28
2.1.5.2 Inclinación o volteo	29
2.1.5.3 Reptación	30
2.1.5.4 Deslizamientos en masa	31
a. Deslizamiento rotacional	32
b. Deslizamiento de traslación	35
c. Diferencia de los movimientos de rotación y de traslación	37
2.1.5.5 Esparcimiento lateral	38
2.1.5.6 Flujo	39
a. Flujo en roca	39
b. Flujo de residuos (detritos)	40
c. Flujo de suelo	41
d. Flujos de lodo	41

2.1.5.7 Avalanchas	42
2.1.6 Causas de los movimientos de ladera	42
2.1.7 Caracterización del movimiento	45
2.1.7.1 Tipo de material	45
a. Roca	45
b. Residuos	46
c. Tierra	46
2.1.7.2 Humedad	46
a. Seco	46
b. Húmedo	46
c. Mojado	46
d. Muy Mojado	46
2.1.7.3 Secuencia de repetición	46
a. Progresivo	46
b. Retrogresivo	47
c. Ampliándose	47
d. Alargándose	47
e. Confinado	47
f. Disminuyendo	47
2.1.7.4 Velocidad del movimiento	47
2.1.7.5 Estilo	48
a. Complejo	48
b. Compuesto	48
c. Múltiple	48
d. Sencillo	48
2.1.7.6 Estado de actividad	49
a. Activo	49
b. Reactivado	49
c. Suspendido	50
d. Inactivo	50
e. Dormido	50
f. Abandonado	50
g. Estabilizado	50
h. Relicto	50
2.2 Lluvia y sus efectos	50
2.2.1 Régimen de lluvias	51
2.2.1.1 Aguaceros torrenciales	51
2.2.1.2 Lluvia acumuladas	52
2.2.1.3 Ciclo hidrológico en el talud	52
2.2.1.4 Intensidad de lluvias que producen deslizamientos	52
2.2.1.5 Tiempo de lluvias que producen deslizamientos	53
2.2.2 Humedad superficial	53
2.2.3 Infiltración	54
2.2.4 Flujo no saturado	55

2.2.4.1	Succión	56
2.2.5	Nivel freático	57
2.2.6	Presión de poros	59
2.2.7	Flujo Saturado	60
2.2.7.1	Flujo en rocas y en suelos residuales	60
2.3	Amenazas sísmicas	61
2.3.1	Sismología en El Salvador	61
2.3.2	Sismicidad	63
2.3.2.1	Magnitud	63
2.3.2.2	Intensidad	64
2.3.3	Análisis de amenaza sísmica	66
2.3.4	Susceptibilidad sísmica	67
2.4	Factores de origen antrópico	67
2.4.1	Cambios en la topografía y cargas del talud	68
2.4.2	Cambios en las condiciones de humedad	68
2.4.3	Cambios en la cobertura vegetal	69
2.5	Riesgos y medidas de prevención	69
2.5.1	Definición de términos	69
2.5.2	Susceptibilidad	72
2.5.3	Amenaza	72
2.5.4	Vulnerabilidad	73
2.5.5	Riesgo	74
2.5.5.1	Caracterización y manejo del riesgo	75
2.5.6	Métodos para disminuir o eliminar el riesgo	76
2.5.6.1	Prevención	77
2.5.7	Métodos de elusión de amenaza	78
2.6	Introducción a la prospección geofísica	80
2.6.1	Resistividad de los materiales	80
2.6.2	Clasificación de suelos de acuerdo a su resistividad	82
2.6.2.1	Variables que afectan la resistividad de un terreno	84
- CAPITULO 3		
3.0	METODOLOGIA PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	86
3.1	Organización del Estudio	87
3.1.1.	Causas comunes de fracasos en la investigación	89
3.2	Estudio topográfico	90
3.2.1.	Metodología para la recolección de datos	90
3.2.1.1.	Recopilación de información	90
3.2.1.2.	Visita preliminar	90
3.2.1.3.	Detalles a tomar en cuenta	92
3.2.1.4.	Levantamiento topográfico	97
3.2.1.5.	Análisis e Interpretación de resultados	101
3.3	Estudio Geotécnico	102
3.3.1	Reconocimiento de áreas inestables y deslizamientos	103
3.3.2	Sondeos	106

3.3.2.1 Métodos de sondeos	108
3.3.3 Muestreo	109
3.3.4 Ensayos	112
3.3.4.1 Ensayos de campo	113
3.3.4.2 Ensayos de Laboratorio	113
3.3.5 Pruebas para la determinación de las Propiedades Físicas del suelo	114
3.3.5.1 Determinación del contenido de agua (humedad) de un suelo en el laboratorio, por masa (ASTM-D 2216)	115
3.3.5.2 Practica para la descripción e identificación de suelos (procedimiento visual-manual ASTM-2488)	116
3.3.5.3 Determinación de limite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos (ASTM-D 4318)	117
3.3.5.4 Distribución granulométrica (ASTM-D 422)	118
3.3.5.5 Ensayo de gravedad específica (ASTM-D 854)	118
3.3.6 Pruebas para la determinación de las propiedades mecánicas de los suelos	119
3.3.6.1 Ensayo de compresión Triaxial no consolidada – no drenada para suelos cohesivos (ASTM-D 2850)	120
3.3.6.2 Método de ensayo para corte directo (ASTM-D 3080)	121
3.3.7 Errores en los estudios geotécnicos	123
3.4 Estudio Hidrológico	123
3.4.1 Estudio de la cuenca	124
3.4.2 Características físicas de la cuenca	124
3.4.2.1 Área (A)	125
3.4.2.2 Longitud perimetral de la cuenca	126
3.4.2.3 Longitud del cauce más largo	126
3.4.2.4 Densidad de drenaje o longitud de corriente (Dd)	126
3.4.2.5 Drenaje de la cuenca	127
3.4.2.6 Desnivel de la cuenca (H)	129
3.4.2.7 Elevación media	129
3.4.2.8 Pendiente media	131
3.4.3 Características de comparación	132
3.4.3.1 Coeficiente de compacidad	132
3.4.3.2 Factor de forma	134
3.4.4 Calculo de avenidas máximas	135
3.4.4.1 Método hidrometeorológico	135
3.4.5 Tiempo de concentración	137
3.4.6 Periodo de retorno	139
3.4.7 Intensidad de diseño	140
3.4.7.1 Análisis de la precipitación	140
3.4.8 Coeficiente de escorrentía (C)	142
- CAPITULO 4	
4.0 RESULTADOS Y ANALISIS	144
4.1 Aspectos históricos y geográficos del cantón Gualindo Arriba	145

4.1.1 División política-administrativa	145
4.1.2 Hidrografía	146
4.1.3 Orografía	147
4.1.4 Clima	147
4.1.5 Vegetación	147
4.2 Caracterización socio-económica del cantón Gualindo Arriba	148
4.2.1 Población	148
4.2.2 Empleo e ingresos	148
4.2.3 Educación	149
4.2.4 Salud	149
4.2.5 Vivienda	150
4.2.6 Presencia institucional	153
4.3 Estudio topográfico	154
4.3.1 Levantamiento topográfico	154
4.3.1.1 Planimetría y otros detalles	155
4.3.1.2 Curvas de nivel	163
4.3.1.3 Mapa de pendientes	163
4.3.1.4 Ubicación de sondeos y bancos de marca	164
4.3.1.5 Perfiles transversales	165
4.3.1.6 Mapa Morfológico	166
4.3.1.7 Uso de suelos	169
4.4 Estudio geotécnico	171
4.4.1 Reconocimiento de áreas inestables y deslizamientos	171
4.4.2 Sondeos	172
4.4.3 Muestreo	174
4.4.4 Ensayos	176
4.4.4.1 Ensayos de campo	176
4.4.4.2 Ensayos de laboratorio	184
4.4.5 Promedio de Resultados	211
4.4.6 Información geológica básica	212
4.4.6.1 Formaciones geológicas de la zona	212
4.5 Estudio hidrológico	213
4.5.1 Características generales de la cuenca	214
4.5.1.1 Orientación de la cuenca	214
4.5.1.2 Hidrología	214
4.5.1.3 Vegetación	214
4.5.1.4 Usos del suelo	215
4.5.2 Características físicas de la cuencas	215
4.5.3 Características de comparación de la cuenca	216
4.5.4 Determinación de la avenida máxima	217
4.5.4.1 Tiempo de concentración	217
4.5.4.2 Periodo de retorno	218
4.5.4.3 Intensidad de diseño	218
4.5.4.4 Coeficiente de escorrentía	223
4.6 Análisis de resultados	225

4.6.1 Estudio topográfico	225
4.6.1.1 Área e infraestructura	225
4.6.1.2. Escarpes, grietas y cuerpos de agua	226
4.6.1.3 Obras de paso y quebradas	229
4.6.1.4 Curvas de nivel, perfiles transversales y mapa de pendiente	230
4.6.1.5 Geomorfología y uso del suelo	231
4.6.2 Estudio Geotécnico	232
4.6.2.1 Perfiles estratigráficos	232
4.6.2.2 Propiedades físicas del suelo	232
4.6.2.3 Propiedades Mecánicas el suelo	236
4.6.3 Estudio hidrológico	237
- CAPITULO 5	
5.0 MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS	240
5.1 Medidas de prevención de riesgos	241
5.2 Acciones que se deben tomar antes, durante y después de un deslizamiento	242
5.2.1 Antes	242
5.2.1.1 Organización y comunicación	242
5.2.1.2 Educación	242
5.2.1.3 Información disponible	243
5.2.1.4 Rutas de escape	243
5.2.1.5 Lugares de Albergue	244
5.2.1.6 Planificación	245
5.2.1.7 Difusión	245
5.2.2 Durante	245
5.2.3 Después	246
5.3 Sistemas de monitoreo	247
5.3.1 Monitoreo topográfico	247
5.3.1.1 Bancos de marca fijos	247
5.3.1.2 DGPS (Sistema de posicionamiento global diferenciado)	248
5.3.2 Monitoreo del agrietamiento superficial	250
5.3.2.1 Medidor de verticalidad	250
5.3.2.2 Detector de agrietamientos	250
5.3.2.3 Dispositivos basados en alambres y poleas	251
5.3.2.4 Inclinómetros	252
5.3.2.5 Reflectometría (TDR)	255
5.3.3 Monitoreo hidrológico	256
5.3.3.1 Pluviómetros	257
5.3.3.2. Pluviógrafos	258
5.3.3.3. Piezómetros	259
5.3.3.4 Tensiómetros	260
5.4 Medidas de estabilización	261

27. Reporte 1 para Compresión Triaxial sondeo 2 Fundación P. Arrupe.
28. Reporte 2 para Compresión Triaxial sondeo 2 Fundación P. Arrupe.
29. Reporte 3 para Compresión Triaxial sondeo 2 Fundación P. Arrupe.
30. Reporte 4 para Compresión Triaxial sondeo 2 Fundación P. Arrupe.
31. Reporte 5 para Compresión Triaxial sondeo 2 Fundación P. Arrupe.
32. Reporte 1 para Compresión Triaxial sondeo 3 Fundación P. Arrupe.
33. Reporte 2 para Compresión Triaxial sondeo 3 Fundación P. Arrupe.
34. Reporte 3 para Compresión Triaxial sondeo 3 Fundación P. Arrupe.
35. Reporte 4 para Compresión Triaxial sondeo 3 Fundación P. Arrupe.
36. Reporte 5 para Compresión Triaxial sondeo 3 Fundación P. Arrupe.
37. Reporte 1 para Compresión Triaxial sondeo 4 Fundación P. Arrupe.
38. Reporte 2 para Compresión Triaxial sondeo 4 Fundación P. Arrupe.
39. Reporte 3 para Compresión Triaxial sondeo 4 Fundación P. Arrupe.
40. Reporte 4 para Compresión Triaxial sondeo 4 Fundación P. Arrupe.
41. Reporte 5 para Compresión Triaxial sondeo 4 Fundación P. Arrupe.
42. Reporte 1 para Compresión Triaxial sondeo 5 Fundación P. Arrupe.
43. Reporte 2 para Compresión Triaxial sondeo 5 Fundación P. Arrupe.
44. Reporte 3 para Compresión Triaxial sondeo 5 Fundación P. Arrupe.
45. Reporte 4 para Compresión Triaxial sondeo 5 Fundación P. Arrupe.
46. Reporte 5 para Compresión Triaxial sondeo 5 Fundación P. Arrupe.
47. Reporte 1 para Compresión Triaxial sondeo 6 Fundación P. Arrupe.
48. Reporte 2 para Compresión Triaxial sondeo 6 Fundación P. Arrupe.
49. Reporte 3 para Compresión Triaxial sondeo 6 Fundación P. Arrupe.
50. Reporte 4 para Compresión Triaxial sondeo 6 Fundación P. Arrupe.
51. Reporte 5 para Compresión Triaxial sondeo 6 Fundación P. Arrupe.
52. Delimitación de la cuenca "Quebradas Gualindo".
53. Área del movimiento dentro de la cuenca.
54. Resultados del Estudio Hidrológico.
55. Mapa Geológico del Departamento de Morazán.
56. Base de datos
57. Esquema de ubicación
58. PLANO. Planimetría y otros detalles.
59. PLANO. Curvas de nivel a 1 y 5 mts.
61. PLANO. Perfiles transversales (largo).
62. PLANO. Perfiles transversales (ancho).
63. PLANO. Ubicación de sondeos y bancos de marca.
64. PLANO. Mapa morfológico.
65. PLANO. Uso del suelo (dentro).
66. PLANO. Uso del suelo (fuera).
67. PLANO. Radio de acción del movimiento de ladera.
68. PLANO. Posible área de asentamiento.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Deslizamiento en Colonia Las Colinas (Enero 2001)	3
Figura 1.2. Deslizamiento en curva La Leona, carretera Panamericana (Febrero 2001)	3
Figura 2.1. Nomenclatura de taludes y laderas	21
Figura 2.2. Nomenclatura de un deslizamiento	23
Figura 2.3. Deslizamiento Colonia Las Colinas (2001)	27
Figura 2.4. Caída de rocas sobre lecho de Río El Pinar, San Ignacio, Chalatenango (Foto: TRIFINIO/GTZ)	28
Figura 2.5. Algunos mecanismos de falla de caídos	29
Figura 2.6. Inclinación o volteo en rocas y suelo	30
Figura 2.7. Ilustración del fenómeno de Reptación	31
Figura 2.8. Deslizamientos en suelos blandos	32
Figura 2.9. Deslizamiento rotacional típico	32
Figura 2.10. Desplazamiento de rotación en una ladera	33
Figura 2.11. Deslizamientos sucesivos dentro de un movimiento general de rotación	34
Figura 2.12. Desplazamiento rotacional en suelos residuales	34
Figura 2.13. Ejemplos de desplazamientos de traslación	36
Figura 2.14. Relaciones D/L para deslizamientos de traslación y rotación	37
Figura 2.15. Esparcimiento lateral	38
Figura 2.16. Flujo en roca	40
Figura 2.17. Flujo de detritos	40
Figura 2.18. Flujo de suelos	41
Figura 2.19. Flujo de lodo	41
Figura 2.20. Avalancha de detritos	42
Figura 2.21. Deslizamientos rotacionales simples y múltiples	49
Figura 2.22. Diagrama del avance de un frente húmedo en materiales residuales	56
Figura 2.23. Saturación y niveles freáticos	58
Figura 2.24. Presión de poros sobre una superficie de falla potencial	59
Figura 2.25. Mapa de Zonificación Sísmica, El Salvador 2002	62
Figura 2.26. Muestra de un material resistivo de longitud (l) y sección transversal (A)	81
Figura 2.27. Variación del campo eléctrico producido por los electrodos AB. a) Variación Vertical, (b) Variación Horizontal	84
Figura 2.28. Representación de un terreno estratificado	84
Figura 3.1. Diagrama de flujo para la investigación y análisis de deslizamientos. (Japan Landslide Society, 1996)	88
Figura 3.2. Diagrama de pasos y métodos que se pueden seguir para el análisis e interpretación de resultados	101
Figura 3.3. Localización sugerida general de sondeos para estudios de movimientos de laderas	107
Figura 3.4. Contorno de muestra inalterada	111

Figura 3.5. Ahondamiento en excavación	111
Figura 3.6. Protección de muestra inalterada con parafina	111
Figura 3.7. Empacamiento de muestra inalterada	111
Figura 3.8. Organigrama de ensayos de campo más comunes	113
Figura 3.9. Copa de Casagrande (Limite Líquido)	117
Figura 3.10. Rolado de barritas desuelo. (Límite Plástico)	117
Figura 3.11. Proceso de vibrado con rop-tap	118
Figura 3.12. Curva Granulométrica	118
Figura 3.13. Matraces utilizados para el ensayo de gravedad específica de los suelos	119
Figura 3.14. Máquina de compresión Triaxial	121
Figura 3.15. Superficie de falla ocurrida al espécimen	121
Figura 3.16. Máquina de corte	122
Figura 3.17. Modelos de Drenaje	128
Figura 3.18. Comparación entre una cuenca y un círculo	132
Figura 3.19. Factor de forma de una cuenca	134
Figura 4.1. Quebrada Gualindo	146
Figura 4.2. Zona de alta pendiente ubicada enfrente de la corona	147
Figura 4.3. Pared derrumbada y grietas en el piso de una casa	151
Figura 4.4. Casas que se encuentran en el borde de los flancos laterales	152
Figura 4.5. Grietas en la pared de una casa y pequeña que se está comenzando a desarrollarse	153
Figura 4.6. Realización del levantamiento topográfico	154
Figura 4.7. Sistema de calles del Cantón Gualindo Arriba	156
Figura 4.8. Escarpe lateral izquierdo	157
Figura 4.9. Grieta que ha dañado infraestructura	158
Figura 4.10. Nacimiento de agua ubicado en la zona inestable	160
Figura 4.11. Ubicación de los nacimientos de agua NA 1 y NA 2 (este fue descubierto después que se comenzara a percibir el movimiento), cerca de los escarpes	161
Figura 4.12. Inclinación del poste que revela el movimiento de laderas	161
Figura 4.13. Daños en la infraestructura del puente	162
Figura 4.14. Rango de pendientes descritas en el mapa anterior	163
Figura 4.15. Bancos de marca colocados en la zona de estudio con sus dimensiones en cms	165
Figura 4.16. Parte de la zona morfológica B	167
Figura 4.17. Zona de alta pendiente	168
Figura 4.18. Desarrollo del escarpe lateral izquierdo	168
Figura 4.19. Zonas donde crece pasto para alimentación del ganado y zona donde hay árboles de teca	170
Figura 4.20. Escarpe Izquierdo	171
Figura 4.21. Grietas parte del escarpe principal	171
Figura 4.22. Inclinación de postes de luz	172
Figura 4.23. Piso dañado de una casa	172
Figura 4.24. Puente dañado por deslizamiento	172

Figura 4.25. Ubicación de los sondeos	173
Figura 4.26. Simbología utilizada para la ubicación de sondeos	173
Figura 4.27. Presencia de Cantos en el interior del terreno y desmoronamiento de muestra	175
Figura 4.28. Cantos extraídos en zona de sondeo 7	175
Figura 4.29. Estado del sondeo 7	175
Figura 4.30. Almacenamiento de muestras alteradas e inalteradas	175
Figura 4.31. Colocación de electrodos para el sondeo Schlumberger	178
Figura 4.32. Equipo de medición Saris Scintrex	179
Figura 4.33. Colocación de electrodos	179
Figura 4.34 Método de los quiebres de curvas de resistividad	180
Figura 4.35. Curva de Resistividad Aparente sondeo 1	181
Figura 4.36. Perfil estratigráfico obtenido del SEV1	182
Figura 4.37. Curva de Resistividad Aparente sondeo 2	183
Figura 4.38. Perfil estratigráfico obtenido del SEV2	184
Figura 4.39. Determinación de Dilatancia en suelos finos y determinación de forma y tamaño de partículas	186
Figura 4.40. Ensayo para determinación de Resistencia en seco en suelos finos	187
Figura 4.41. Horno para secado de muestras Facultad Multidisciplinaria Oriental	188
Figura 4.42 Curva Granulométrica 1 Sondeo 1	190
Figura 4.43. Curva Granulométrica 2 sondeo 1	190
Figura 4.44. Curva Granulométrica 1 sondeo 2	192
Figura 4.45. Curva Granulométrica 2 sondeo 2	192
Figura 4.46. Curva Granulométrica 1 Sondeo 3	194
Figura 4.47. Curva Granulométrica 2 Sondeo 3	194
Figura 4.48. Curva Granulométrica 1 Sondeo 4	196
Figura 4.49. Curva Granulométrica 2 Sondeo 4	196
Figura 4.50. Curva Granulométrica 1 Sondeo 5	198
Figura 4.51. Curva Granulométrica 2 Sondeo 5	198
Figura 4.52. Curva Granulométrica 1 sondeo 6	200
Figura 4.53. Curva Granulométrica 2 sondeo 6	200
Figura 4.54. Curva Granulométrica 1 Sondeo 7	202
Figura 4.55. Curva Granulométrica 2 Sondeo 7	202
Figura 4.56. Cribado en Rop-Tap de Facultad Multidisciplinaria Oriental	203
Figura 4.57. Pesado de malla después del cribado	204
Figura 4.58. Lavado de material fino con malla N°200	204
Figura 4.59. Determinación de Límite líquido por el método de la copa de Casagrande	206
Figura 4.60. Rollitos para determinación del límite plástico	206
Figura 4.61. Extracción de muestra inalterada S-1	207
Figura 4.62. Protección de muestras con parafina y manta antes de su empaquetamiento	208
Figura 4.63. Labrado final de la muestra y cubierta de parafina	208

Figura 4.64. Empaquetamiento final de la muestra	208
Figura 4.65. Vegetación existente en la parte alta de la cuenca y media de la cuenca	215
Figura 4.66. Superficie de la falla aparente de la ladera	226
Figura 4.67. Zona de confluencia de los tres sistemas de grietas	227
Figura 5.1. Información que se puede obtener para comenzar la planificación	243
Figura 5.2. Posibles rutas de escapes plasmadas en el cuadrante	244
Figura 5.3. Posible colocación de varillas fijos dentro y fuera del movimiento de laderas	248
Figura 5.4. GPS diferencial	249
Figura 5.5. Medidor de verticalidad	250
Figura 5.6. Equipo sencillo en madera para medir los desplazamientos	251
Figura 5.7. Monitoreo de grietas en el hombro de laderas inestables mediante dispositivos basados en regletas, alambres y poleas	252
Figura 5.8 Esquema de un inclinómetro	253
Figura 5.9. Sonda de un inclinómetro	254
Figura 5.10. Vista de un inclinómetro y de su equipo de medición en la superficie	255
Figura 5.11. Funcionamiento de la reflectometría	256
Figura 5.12. Medición de la cantidad de agua en un pluviómetro	257
Figura 5.13. Pluviógrafo	258
Figura 5.14. Esquema de un piezómetro de tubo abierto tipo Casagrande y de tubo abierto tipo Casagrande con punta porosa plástica	259
Figura 5.15. Esquema de un tensiómetro	261
Figura 5.16. Conformación de la superficie para evitar empozamientos	262
Figura 5.17. Se requiere sellar las grietas para impedir la infiltración que puede activar un deslizamiento	263
Figura 5.18. Zona morfológica C, donde se encuentran grietas combinadas con altas pendientes y el escarpe principal	264
Figura 5.19. Detalle de zanjas de la corona para el control de las aguas superficiales en un talud	265
Figura 5.20. Sistema de canales prefabricados para el drenaje de los taludes	266
Figura 5.21. Esquema en planta de canales colectores Espina de Pescado	267
Figura 5.22. Torrentera en gradería con bloques de concreto	268
Figura 5.23. Torrentera de elementos prefabricados	269
Figura 5.24. Esquema de una cortina impermeable y un ejemplo de su uso en la estabilización de un deslizamiento	270
Figura 5.25. Construcción de pantallas de "Slurry"	271
Figura 5.26. Proceso de construcción de pantallas de columnas para suelo mezclado con cemento	272
Figura 5.27. Efecto de una galería de drenaje sobre las líneas piezométricas en un gran deslizamiento. (a) Antes de la galería. (b) Después de construida la galería	273
Figura 5.28. Túnel de drenaje para estabilizar el deslizamiento del estribo	273

de un viaducto en la vía a Acapulco en México	
Figura 5.29. Diagrama conceptual del efecto de la remoción de materiales de la cabeza de un talud	275
Figura 5.30. Estabilización de un deslizamiento de doble cuña removiendo material de la parte superior del movimiento	276
Figura 5.31. Cortar en la parte inferior del talud tiene muy poco efecto sobre el factor de seguridad o tiene un efecto negativo	277

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Influencia de los diferentes factores en las condiciones de los materiales y de las laderas	44
Tabla 2.2. Velocidad de los movimientos	48
Tabla 2.3. Posibilidad de deslizamientos causados por sismos	64
Tabla 2.4. Escala de intensidad Mercalli Modificada	65
Tabla 2.5. Métodos de elusión de amenaza de deslizamiento	79
Tabla 2.6. Resistividades de distintos tipos de terreno	83
Tabla 3.1. Detalles a tomar en cuenta en un movimiento de laderas	92
Tabla 3.2. Detalles a tomar en cuenta en un movimiento de laderas	93
Tabla 3.3. Detalles a tomar en cuenta en un movimiento de laderas	94
Tabla 3.4. Detalles a tomar en cuenta en un movimiento de laderas	95
Tabla 3.5. Detalles a tomar en cuenta en un movimiento de laderas	96
Tabla 3.6. Detalles, parámetros y métodos	98
Tabla 3.7. Detalles, parámetros y métodos	98
Tabla 3.8. Detalles, parámetros y métodos	99
Tabla 3.9. Detalles, parámetros y métodos	100
Tabla 3.10. Métodos de sondeos	108
Tabla 3.11. Métodos de sondeos	109
Tabla 3.12. Toma de muestras alteradas	110
Tabla 3.13. Clases de calidad de muestreo	112
Tabla 3.14. Normas ASTM utilizadas para determinación de propiedades físicas	115
Tabla 3.15. Norma utilizada para la determinación de las propiedades mecánicas del suelo	119
Tabla 3.16. Método de la curva hipsométrica	130
Tabla 4.1. División política-administrativa del municipio de Lolotiquillo	145
Tabla 4.2. Situación educativa en los diferentes caseríos del municipio de Lolotiquillo	149
Tabla 4.3. Situación de salud en los diferentes caseríos de Lolotiquillo	150
Tabla 4.4. Situación de la infraestructura y asentamientos de Lolotiquillo	151
Tabla 4.5. Descripción de las casas que se encuentran dentro de la zona inestable	151
Tabla 4.6. Observaciones y datos sobre las casas que se encuentra fuera de la zona inestable	152

Tabla 4.7. Detalles de la calle que presenta daños	155
Tabla 4.8. Detalles de los escarpes laterales	156
Tabla 4.9. Detalles de escarpe principal	157
Tabla 4.10. Detalles de grietas presentes en la zona	159
Tabla 4.11. Infraestructura que se encuentra dentro de la zona del movimiento de laderas	159
Tabla 4.12. Detalles descriptivos de la laguna	159
Tabla 4.13. Detalles de los nacimientos de agua	160
Tabla 4.14. Detalles geométricos del puente	162
Tabla 4.15. Detalles de las quebradas que transitan la zona afectada de Gualindo Arriba	162
Tabla 4.16. Ubicación de los sondeos	164
Tabla 4.17. Ubicación de los bancos de marca	164
Tabla 4.18. Ubicación de los sondeos eléctricos verticales	164
Tabla 4.19. Datos generales de la pendiente en los perfiles longitudinales	165
Tabla 4.20. Datos generales de la pendiente en los perfiles transversales	166
Tabla 4.21. Datos generales de la elevación en los perfiles	166
Tabla 4.22. Algunos detalles de las diferentes unidades morfológicas	169
Tabla 4.23. Uso del suelo dentro de la zona inestable	169
Tabla 4.24. Uso del suelo fuera de la zona inestable	169
Tabla 4.25. Coordenadas de los sondeos	174
Tabla 4.26. Resultados de campo en sondeo geofísico 1	178
Tabla 4.27. Resultados de campo en sondeo geofísico 2	179
Tabla 4.28. Datos de espesor y resistividad en sondeo geofísico 1	182
Tabla 4.29. Datos de espesor y resistividad en sondeo geofísico 2	183
Tabla 4.30. Resultados práctica descripción visual-manual	186
Tabla 4.31. Resultados Ensayo de determinación de Contenido de Humedad	187
Tabla 4.32. Resumen de resultados Granulometría	203
Tabla 4.33. Resultados obtenido del ensayo para determinación de límites de consistencia ASTM D 4318	205
Tabla 4.34. Coordenadas de sondeos en muestras inalteradas	207
Tabla 4.35. Resumen de datos de ensayo Gravedad Específica	209
Tabla 4.36. Relaciones volumétricas y gravimétricas de las muestras inalteradas	209
Tabla 4.37. Resumen de resultados ensayo de compresión Triaxial	210
Tabla 4.38. Resumen de resultados ensayo de corte directo	210
Tabla 4.39. Valores promedio de propiedades físicas del suelo	211
Tabla 4.40. Valores promedio de propiedades mecánicas del suelo	211
Tabla 4.41. Características físicas de la cuenca	216
Tabla 4.42. Característica de comparación de la cuenca	216
Tabla 4.43. Tiempo de concentración de la cuenca	217
Tabla 4.44. Intensidad de precipitación máxima anual, estación Z-2	219
Tabla 4.45. Valores de intensidad máxima anual con su frecuencia	220
Tabla 4.46. Intensidades de diseños de la cuenca	223
Tabla 4.47. Parámetros geológicos de la cuenca	223

Tabla 4.48. Coeficiente de escorrentía de la cuenca	224
Tabla 4.49. Caudales de diseños de la cuenca	224
Tabla 4.50. Clasificación de deslizamiento hecha por Fell en 1994	226
Tabla 4.51. Clasificación de las pendientes	230
Tabla 4.52. Capacidad de intercambio catiónico en minerales de arcilla	234
Tabla 4.53. Relación de límites de plasticidad para los minerales de la arcilla	234
Tabla 4.54. Gravedad específica de minerales importantes	235
Tabla 4.55. Ángulos de Fricción comunes en los suelos	237
Tabla 4.56. Calificativo a susceptibilidad a deslizamiento por el relieve	
Fuente: SNET	238

INDICE DE FORMULAS

Ecuación 2.1 Intensidad de lluvia que produce deslizamientos	52
Ecuación 2.2 Determinación de la velocidad del frente húmedo	56
Ecuación 2.3 Magnitud de un sismo	64
Ecuación 2.4 Valoración de la vulnerabilidad	74
Ecuación 2.5 Resistividad de los materiales	80
Ecuación 3.1 Densidad de drenaje	126
Ecuación 3.2 Desnivel de la cuenca	129
Ecuación 3.3 Elevación media por el método de semi-suma	129
Ecuación 3.4 Elevación media por el método analítico	131
Ecuación 3.5 Pendiente media	131
Ecuación 3.6 Coeficiente de compacidad	133
Ecuación 3.7 Factor de forma	134
Ecuación 3.8 Formula racional para el cálculo de caudal máximo	135
Ecuación 3.9 Formula de Pickering para el cálculo del tiempo de concentración	137
Ecuación 3.10 Formula empírica de Kirpich para el cálculo del tiempo de concentración	138
Ecuación 3.11 Formula de Giandotti para el cálculo del tiempo de concentración	139
Ecuación 3.12 Cálculo de la frecuencia empírica	140
Ecuación 3.13 Cálculo de separación entre curvas de nivel	142
Ecuación 4.1 Índice de movilidad	236

INTRODUCCIÓN

Los movimientos de ladera son uno de los fenómenos naturales más extendidos en las áreas de montaña. A pesar de su carácter ubicuo, comparado con otros procesos, su ocurrencia es en términos relativos menos desastrosa.

El Salvador no se escapa de ésta actividad, la cronología de fenómenos ocurridos como huracanes, terremotos, deslizamientos de tierra, etc.; nos demuestran la vulnerabilidad a riesgos provocados por desastres naturales, no obstante, nuestro país no se queda atrás frente a la vastedad del estudio del comportamiento de la Tierra.

Un ejemplo de esto es “Gualindo Arriba”¹, cantón ubicado en la parte Noreste de nuestro país; en el Municipio de Lolotiquillo, Departamento de Morazán, ya que está siendo afectado por movimientos de laderas relativamente lentos, pero que en condiciones extremas pueden convertirse en fenómenos mucho más rápidos que pueden ocasionar daños a la comunidad.

Es por esto que al querer sumergirse en la profundidad de los trabajos realizados en diferentes libros, sitios web, tesis, etc. y la necesidad imperiosa de ofrecer material útil a la colectividad humana, queremos presentar un estudio focalizado sobre el movimiento de laderas en el cantón Gualindo Arriba, municipio de Lolotiquillo, departamento de Morazán, en el que se pueda identificar a partir de un estudio topográfico, geotécnico e hidrológico, la información necesaria para comprender dichos fenómenos.

El documento se ha estructurado en 6 capítulos de la siguiente manera:

El primer capítulo se ha llamado “Anteproyecto”, el cual comprende de un planteamiento del problema, donde se estudian los antecedentes del mismo y se citan algunos estudios previos relacionados con el tema; el enunciado del problema y la justificación del porqué de la investigación; los objetivos, las delimitaciones de éstos que incluyen los alcances y limitaciones involucradas en la realización del documento y por último la metodología con la que se llevó a cabo toda la investigación.

¹Ver croquis en sección de Anexos 57.

El segundo capítulo contiene la teoría básica con respecto a movimientos de laderas, así como los elementos que se involucran en éstos; el efecto de las lluvias, amenazas sísmicas, acciones antrópicas, además teoría acerca de riesgos y medidas de prevención y prospección geofísica.

El tercer capítulo se refiere a la metodología que se lleva a cabo para obtener los datos de campo en la identificación de los movimientos de laderas presentes en éste documento, así como aspectos teóricos sobre todos los estudios, entre los cuales están: Estudio Topográfico, Estudio geotécnico tanto en campo como en el laboratorio y Estudio Hidrológico.

El capítulo cuatro presenta aspectos geográficos e históricos del lugar y se plasman los resultados obtenidos de todos los estudios como parte de la identificación de movimientos de ladera, con un respectivo análisis que contempla la evaluación del movimiento en cada caso.

El capítulo cinco establece las propuestas de medidas de prevención de riesgos para así, dejar una base a futuras acciones de las instituciones especializadas en prevención de riesgos.

En el capítulo seis se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el proceso de identificación y evaluación de movimientos de ladera.

Además se presentan la bibliografía y glosario de términos con la finalidad de proporcionar una mirada más amplia y ayudar a referenciar el contenido científico del trabajo. En la sección de anexos se encuentran, entre otras cosas, los planos topográficos, resultados de los ensayos geotécnicos, mapas, etc.

CAPITULO 1

ANTEPROYECTO

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1.1 ANTECEDENTES.

En El Salvador, por su condición geográfica, morfológica y geológica, es normal la ocurrencia de movimientos sísmicos, erupciones volcánicas y fenómenos hidrometeorológicos, provocando pérdidas humanas y materiales. Los deslizamientos de tierra son más propensos en las zonas volcánicas y montañosas, ubicadas al noreste del país, pendientes fuertes con alto grado de deforestación, formaciones geológicas poco consolidadas y suelos fracturados.

Todos los años, durante el período lluvioso, se producen inundaciones, deslizamientos de tierra y derrumbes en todo el país, afectando principalmente a los colectivos sociales con menores recursos.

El 10 de Octubre 1986, un sismo provocó centenares de deslizamiento de tierra que causó la muerte de muchas personas, entre los cuales sobresale el de la Colina Santa Marta que provocó la muerte de 200 personas.

El 31 de Octubre del año 1998, azotó al país el ya desaparecido y convertido a tormenta tropical, huracán Mitch; dejó a su paso una serie de problemas de inundaciones e inestabilidad en laderas, debido a la gran cantidad de precipitación en un tiempo relativamente pequeño lo cual sobresaturó los suelos.

El 13 de Enero del 2001, un sismo de magnitud 7.6 en la escala de Richter sacudió todo el territorio salvadoreño. Este sismo detonó una serie de deslizamientos de gran magnitud en todo el territorio nacional, siendo una de las zonas más afectadas la Colonia Las Colinas, al Sur Oeste de la capital salvadoreña. En este lugar, un deslizamiento sepultó la mayor parte del asentamiento humano, ocasionando 536 muertes y 300 viviendas destruidas.¹

Esta situación creó en la comunidad sentimientos de incertidumbre, desconcierto y un caos que tornó difícil articular cualquier tipo de organización comunitaria como una fuerza efectiva de gestión.

¹ Gestión de Riesgos, Servicio Nacional de Estudios Territoriales SNET.



Figura 1.1 Deslizamiento en Colonia Las Colinas (Enero 2001).

Además a consecuencia del terremoto del 13 de Febrero del 2001, en el tramo de la carretera panamericana comprendido entre los kms. 50+860 y km. 55+280 zona conocida como curva la Leona, se produjeron serios daños en la estructura del pavimento y múltiples deslizamientos de tierra en varios de sus taludes siendo el más crítico de estos, el ocurrido entre los kms. 53+060 a km. 53+280, donde se produjo un deslizamiento de aproximadamente 4,000 mts.³ que obstruyó completamente la carretera y causó la pérdida de vidas humanas.²



Figura 1.2 Deslizamiento en curva La Leona, carretera Panamericana (Febrero 2001).

² Monitoreo de los Taludes de la Carretera CA-1, en la Zona de la Curva de la Leona. Unidad de Investigación y Desarrollo Vial UIDV. Ministerio de Obras Públicas MOP.

El 8 de Noviembre del año 2009 ocurrió otro desastre en el Municipio de Verapaz, San Vicente, donde murieron alrededor de 100 personas, el lugar prácticamente desapareció por un flujo de lodo y piedra.

El Diario Co-Latino³ expresó la preocupación de la comunidad en el Cantón Gualindo Arriba, Municipio de Lolotiquillo, Departamento de Morazán con respecto al fenómeno, al detectar los efectos que se producían en la infraestructura del lugar. También existe una publicación de un informe del Ministerio de Obras Publicas cuando ocurrió la tormenta tropical Agatha presentado el 28 de Agosto del 2010 en el cual se exponen diferentes impactos que generó este fenómeno tropical combinado con el movimiento de laderas que existe en el lugar y al final de todo lo que se propone investigar es la identificación de los movimientos que existen en la ladera y así evaluar el comportamiento y poder proponer medidas de prevención contra el riesgo que pueda existir.

Esta cronología muestra la ocurrencia de movimientos de ladera en el país, ya sea en cualquiera de sus varias clasificaciones, como por ejemplo: Caídos, Inclinación o Volteo, Reptación⁴, Deslizamientos, Esparciamiento Lateral⁵, Flujos y Avalanchas, etc.

Algunos estudios realizados con relación a este tema se presentan a continuación:

Análisis de Riesgo Grietas del Cerro el Cabro.⁶ Para ejecutar el estudio se conformó el equipo de trabajo compuesto por el geólogo Walter Hernández y el economista Emilio Márquez, que levantaron la información tanto del lugar donde se localizan las grietas como del espacio territorial donde se ubica el Caserío Suyalapa para conocer los aspectos relacionados con la vulnerabilidad. La recopilación de la información primaria se efectuó a partir de tres inspecciones y levantamiento de datos de las condiciones de las grieta del cerro Cabro y de la ubicación y de los elementos expuestos. Para ello se contó con el apoyo del personal de la Asociación y Cooperativa Gerardo Barrios, cuya sede está en Ilobasco. Se tomaron medidas del largo, abertura y de los escarpes en las grietas principales, las

³ “Hundimiento preocupa a los habitantes del caserío Gualindo Arriba” 09-06-2010.

⁴ Flujo lento, la velocidad se excita en épocas de invierno.

⁵ Movimientos con componentes, principalmente laterales, en taludes de baja pendiente.

⁶ Análisis de riesgo y condición de grietas, SNET.

cuales fueron georeferenciadas. Además, se contó con la ayuda de los técnicos de Hidrología, para hacer el aforo volumétrico del manantial que surgió en la ladera occidental del cerro. En el sector del caserío Suyalapa, con el empleo de un clinómetro se llevó a cabo la medición de la altura de las viviendas en relación al nivel del río Gualcho, sobre todo aquellas situadas en las partes más bajas y cercanas al río. Se ha implementado un sistema sencillo de monitoreo basado en la colocación de pares de estacas a ambos lados de las grietas a controlar. Estas mediciones son llevadas a cabo por el personal de la Cooperativa Gerardo Barrios, datos que son suministrados periódicamente vía teléfono al SNET.

Además, se efectuaron visitas y entrevistas con las familias que habitan las viviendas del Caserío Suyalapa, se georeferenciaron cada una de las viviendas que se ubican en la ribera y lo largo del cauce del río Gualcho.

Umaña Interiano y Otros (1992).⁷ En 18 comunidades en las márgenes de río Acelhuate entre el costado oriente del barrio La Vega y los condominios Atonal (al costado sur de la fábrica Eureka) estudiaron los criterios y parámetros geotécnicos de las márgenes del río Acelhuate para su protección y prevención de riesgos y desastres, determinando zonas críticas como derrumbes, colapso de muros, socavación de estructuras existentes, esto, enfocado a los riesgos que corren las comunidades y otras estructuras que se encuentran en la corona de los taludes y márgenes del río.

Para el análisis de obras de protección en las riberas del cauce del río Acelhuate aplicaron los siguientes criterios: 1) Criterios hidrológicos: altura de aguas máximas, nivel freático del sitio, zonas de inundación y escorrentía superficial; 2) Criterios geológicos: identificación de suelo o roca existentes en la zona, forma del relieve del suelo (morfología), estratigrafía de los taludes, actividad sísmica local y la geomorfología; 3) Criterios geotécnicos: tipos de suelos existentes en la zona, grietas o fisuras en los taludes, sobrecarga en los taludes, características del suelo en la zona, altura e inclinación de taludes.

⁷ Criterios y Parámetros Geotécnicos de las Márgenes del Cauce del Río Acelhuate para su Protección y Prevención de Riesgos y Desastres, Determinando Zonas Críticas.

Realizaron sondeos de penetración estándar, toma de muestras inalteradas, prueba de cimentación y pruebas de impermeabilización de taludes, en cuatro comunidades de las 18 seleccionadas, basándose en criterios geotécnicos, obteniendo los resultados siguientes:

La estratigrafía del suelo en los taludes de las comunidades estudiadas se compone de 4 capas: 1) arena limosa gris- café con pómez y finos orgánicos, 2) arena mal graduada gris oscuro, 3) arena limosa café claro con pómez, y 4) limo arenoso café claro con pómez.

Los contenidos de humedad del subsuelo son variables, localizando saturación en el estrato 1 con un promedio de 26.5% de humedad, el estrato 2 se considera parcialmente saturado con un promedio de 21% de humedad lo cual se repite en forma similar; en los otros dos estratos encontraron que en la corona de los taludes se encuentran suelos sueltos con un número de golpes promedio de $n \leq 10$ golpes / pie, por lo que son propensos a los deslizamientos; en el segundo estrato el suelo se considera semi-denso, mientras de este estrato en adelante el suelo es considerado denso a muy denso con un número de golpes que oscila entre 30 a 55 golpes / pie. De la prueba de cimentación, desintegración del material en contacto con el agua, observaron que los suelos con más baja cimentación son los limos arenosos y suelos orgánicos. También, encontraron suelos limos arenosos, orgánicos y en menor grado los areno-limosos, que al estar sometidos a saturación completa, fácilmente pierden su cohesión aparente, por lo cual, se producen los derrumbes del suelo en los taludes. De ahí que para la protección y conservación de taludes recomendaran lo siguiente:

Evaluar el uso de gaviones y muros de mampostería, controlar el agua de escorrentía y la acción erosiva, mediante el uso de cunetas paralelas al borde del talud; realizar los estudios correspondientes para regular la distancia óptima de protección en taludes, habiendo mapeado en el tramo, las posibles áreas de riesgo en las riberas del río, teniendo que ser estas, parte de las áreas de retiro debido a la acción del río Acelhuate.

Existe entonces, suficiente material para realizar estudios focalizados de estos fenómenos, en esa dirección va dirigida la investigación, la cual se enfoca en la **Identificación y Evaluación del movimiento de ladera y propuestas de medidas de prevención de riesgos en el Cantón Gualindo Arriba, Municipio de Lolotiquillo, Departamento de Morazán**, cuyo movimiento está caracterizado por ser lento y casi no perceptible por los

habitantes; sin embargo, se ha detectado por la serie de daños que va ocasionando cuando el fenómeno avanza y deja tras de él visibles daños en la infraestructura del lugar.

Alrededor de este caso focalizado existen mínimos estudios, prácticamente nunca se han llevado a cabo acciones que propongan los estudios de riesgo que se ha realizado en el Departamento de Morazán.

1.1.2 ENUNCIADO DEL PROBLEMA.

Los asentamientos humanos, por la falta de información del lugar en donde se sitúan, las condiciones topográficas desfavorables, la falta de medidas de prevención frente a cualquier fenómeno natural, presentan vulnerabilidad ante un riesgo geológico-climático que puede ocurrir de manera inesperada, debido a los cambios en el clima que se están dando.

El cantón “Gualindo Arriba” se encuentra ubicado en la parte noreste del municipio de Lolotiquillo, Departamento de Morazán, una zona montañosa con altos grados de precipitación, lo cual ha hecho que se presenten movimientos de ladera imprevistos y dañado la infraestructura existente (casas, obra de paso, iglesia, etc.).

El estudio del fenómeno del movimiento de laderas es complicado en sí, por la gran cantidad de variables que los ocasionan (la acción de la gravedad, el debilitamiento progresivo de los materiales, lluvias incesantes, desforestación provocada por el desarrollo local del hombre, etc.), una de éstas y quizás la más importante es el agua y la inestabilidad misma de las laderas.

Por lo tanto, el problema que se plantea esta investigación, es que no existen estudios realizados sobre los parámetros más importantes de este fenómeno en el Cantón Gualindo Arriba, Municipio de Lolotiquillo, Departamento de Morazán.

1.1.3 JUSTIFICACION.

El país posee alrededor de 20,742 km², en esta superficie existen una serie de riesgos geológicos, climáticos y geológicos-climáticos; ejemplos de estos pueden ser las erupciones de volcanes, inundaciones debido a huracanes o tormentas tropicales, deslizamientos de tierra, lodo o piedras causados por sismos o precipitaciones de alta intensidad y duración, etc.

Los pobladores de Gualindo Arriba, Municipio de Lolotiquillo, Departamento de Morazán, tienen un latente problema de deslizamientos de tierra debido a las constantes lluvias que debilitan las uniones internas entre los granos del suelo, lo que hace que se produzca la falla (desestabilización de ladera). La tierra presentó hundimientos y grietas, las cuales se hicieron más largas, anchas y profundas al punto de derrumbar dos casas. Hasta la fecha, 28 casas han sido dañadas, lo que equivale a 100 personas afectadas⁸.

El conocimiento de estos fenómenos inspira a afrontar dichos problemas de la mejor manera, identificando las características y desarrollo del movimiento de ladera. Aunque en realidad existen diversos libros, sitios web, tesis, etc. que poseen información y datos sobre estos temas, esta información se encuentra de manera general, en algunos casos se han realizado estudios de procesos focalizados en lugares particulares, pero no existe así, información de datos de campo del lugar en estudio, que puedan servir para identificar este fenómeno con un fundamento científico en el cual se puedan basar las autoridades ya sea PROTECCION CIVIL, ADESCO, Alcaldía Municipal.

Es preciso decir que, entonces, ésta investigación servirá como una base de datos en la cual se podrán encontrar diferentes parámetros topográficos, geotécnicos e hidrológicos, éstos se podrán utilizar en la elaboración o elección de metodologías de remediación y estabilización; como también se podrá usar la metodología de recolección de datos de campo en otros movimientos de ladera; y así, de esta manera demostrar la importancia y viabilidad de este tipo de investigaciones para las comunidades, autoridades, investigadores, en momentos en los que El Salvador se encuentra ubicado como uno de los países más vulnerables ante fenómenos naturales que puedan causar desastres.

⁸ Diario Co-Latino, 09 de Junio de 2010.

1.2 OBJETIVOS.

1.2.1 OBJETIVO GENERAL.

Identificar las características del movimiento de ladera en los lugares adyacentes del cantón Gualindo Arriba del Municipio de Lolotiquillo, Departamento de Morazán para proponer medidas de prevención de riesgos adecuadas al lugar en particular.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Caracterizar la morfología del lugar a través de un estudio topográfico que permita conocer la situación actual de la ladera e investigar los patrones de drenaje.
- Evaluar las propiedades físicas y mecánicas del suelo en base a estudios geotécnicos que se efectuarán en puntos estratégicos en la ladera en estudio.
- Calcular los caudales que circulan sobre la cuenca así como también diferentes parámetros y características que se pueden obtener evaluando un estudio Hidrológico.
- Proponer medidas de prevención de riesgos que estén adecuadas al lugar y que puedan ser útiles para la comunidad y demás instituciones involucradas.
- Plantear una propuesta metodológica para la recolección de datos de campo en un movimiento de ladera.

1.3 DELIMITACIONES.

1.3.1 ALCANCES.

- La investigación abarcó específica y únicamente a una ladera del cantón Gualindo Arriba, Municipio de Lolotiquillo, Departamento de Morazán, la cual le llamamos “Ladera 1” y está ubicada en el caserío Gualindo Arriba.
- Se hizo un levantamiento topográfico que permitió conocer el área total del movimiento de laderas y determinar la magnitud de accidentes en el terreno en estudio, con curvas de nivel a cada 5 metros.
- El levantamiento topográfico se relacionó con los cuadrantes cartográficos elaborados por el Centro Nacional de Registros.
- Se hicieron pozos a cielo abierto del sitio y se extrajeron muestras alteradas e inalteradas con el fin de realizar Granulometría, Descripción Visual-Manual, Gravedad Específica, Límites de consistencia, Prueba Triaxial y Corte Directo⁹.
- Para el cálculo de las intensidades de diseño en el estudio hidrológico se utilizó la base de datos de la estación meteorológica de San Francisco Gotera.
- Se propusieron actividades, obras, acciones, etc. que puedan servir como medidas de prevención de riesgos para la comunidad y demás instituciones involucradas (Alcaldía Municipal, Protección Civil, ADESCO, etc.) sin llegar al diseño de las mismas.
- Con los parámetros más importantes recolectados en campo y en laboratorio se propuso una base de datos¹⁰.

⁹ Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Suarez Díaz, Jaime. 1998.

¹⁰ Ver Anexo 57.

- Se creó una propuesta metodológica para la recolección de datos de campo que sirvan para elaborar estudios topográficos, estudios de suelos y estudios hidrológicos en un movimiento de laderas.

1.3.2 LIMITACIONES.

- Para determinar la altura de la superficie de falla, se necesita de un ensayo geofísico, el cual utiliza un equipo que lo posee la Universidad de El Salvador en la sede central, encontrar la forma y la altura de dicha superficie depende de la disponibilidad de tiempo de los técnicos que operan el equipo.
- Se realizaron gestiones a diferentes instituciones como: Protección Civil de Morazán y Alcaldía Municipal de Lolotiquillo, con el objeto que nos puedan brindar cualquier tipo de ayuda ya sea financiera, informativa, etc.
- Se ejecutaron todos los trámites posibles para utilizar los aparatos del Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador en San Salvador, para poder realizar las pruebas Triaxial y la de Corte Directo, pero la remodelación superó los tiempos estimados en el cronograma para realizar dichas pruebas, por lo tanto, éstas fueron realizadas en el Laboratorio de Suelos y Materiales del Centro de Tecnología Aplicada de la Fundación Padre Arrupe.
- El tipo de suelo a simple vista parece ser un suelo bastante poroso con gran cantidad de cantos y bloques en la parte superficial, ésta característica dificulta la obtención de muestras inalteradas, así como también el labrado de los cilindros que se ensayan en la prueba Triaxial, se tomaron las debidas consideraciones si es posible realizar dicha prueba.

1.4 METODOLOGIA.

Las investigaciones científicas no pueden llamarse de esa forma si no se aplica para el diseño de la misma un método científico, en este apartado se pretende abarcar la *selección de la unidad de análisis, las poblaciones, los materiales, las técnicas y procedimientos* necesarios para alcanzar los objetivos del proyecto.

Nuestra unidad de análisis es la Ladera 1 ubicada en el caserío Gualindo Arriba, del cantón del mismo nombre situada entre el cerro Cacalote y el cerro El Mojón, la ladera está siendo afectada por un deslizamiento de tierra, por lo tanto los parámetros que vamos a medir son aquellos que nos identifican a esta clase de fenómenos, en nuestro caso se van medir parámetros topográficos, geotécnicos e hidrológicos.

Con nuestra investigación “**Identificación del movimiento de ladera y propuestas de medidas de prevención de riesgos en el Cantón Gualindo Arriba, Municipio de Lolotiquillo, Departamento de Morazán**”, se busca medir las dimensiones o componentes de dicho fenómeno, lo que nos lleva a una investigación de tipo *descriptiva*.¹¹

Se considera de tipo descriptiva ya que como se plasmó anteriormente buscamos, recolectar datos de los diferentes parámetros que constituyen nuestra unidad de análisis, ordenarlos de una manera lógica y analizarlos, para tener una mejor comprensión del fenómeno y satisfacer el problema de la investigación.

1.4.1 ETAPAS DE LA METODOLOGIA.

1.4.1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Se realiza el planteamiento general del problema que se quiere resolver por medio de la investigación.

“Ausencia de datos de campo en el movimiento de laderas del cantón Gualindo Arriba, municipio de Lolotiquillo, departamento de Morazán. Como por ejemplo: parámetros físicos y mecánicos del tipo de suelo, topografía del lugar, parámetros hidrológicos, etc.”

¹¹ Sampieri, Roberto - Metodología de la Investigación.

1.4.1.2 RECONOCIMIENTO E IDENTIFICACIÓN DEL SITIO.

En base a que esta investigación es de tipo descriptivo es necesario realizar una serie de visitas de campo, y así conocer de primera mano la problemática que hemos acudido a identificar.

Las visitas que se han programado son las siguientes:

- Visitas Preliminares: las cuales pueden ser dos o tres, dependiendo de qué tan grande sea la zona a estudiar, se llaman preliminares debido a que se ejecutarán antes de los estudios detallados.

La primera y segunda etapa del método científico se encuentran desarrolladas en el primer y segundo Capítulo de la investigación denominados “Anteproyecto” y “Marco Teórico”, ya que para realizar un buen perfil de la investigación se tiene que conocer personalmente el fenómeno que ocurre y realizar un buen planteamiento del problema.

1.4.1.3 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.

Es la recopilación de antecedentes con métodos e instrumentos diseñados para esta fase. Dentro de la investigación existe el Capítulo número Tres nombrado “Metodología para la recolección de datos” el cual abarca la tercera etapa del método científico, ya que cuenta con tres metodologías para cada estudio que se pretende realizar. Para nuestro caso se realizarán tres estudios que se describen a continuación:

- I- *Estudio Topográfico¹²: se hará un levantamiento topográfico, el cual incluirá la zona del movimiento de laderas y sus lugares aledaños, curvas de nivel a cada 5 mts., perfiles de elevación, croquis de ubicación, etc. Este estudio nos ayudará, para realizar los dos siguientes.*

Los instrumentos que utilizaremos para ejecutar dicho estudio son los siguientes:

- ⇒ Estación Total: Es un aparato electro-óptico el cual sirve para realizar todo tipo de levantamientos topográficos, y el cual se utilizará para realizar el levantamiento topográfico de la ladera en estudio y sus sitios aledaños.

Marca: Nikon

Código: DTM332

Modelo: 520

Capacidad: 10000 puntos

Prismas: 2

- ⇒ Brújula: se utiliza para direccionar la primera estación con el Norte Magnético.

- ⇒ GPS o SPG: sistema de posicionamiento global, es un sistema global de navegación por satélite (GNSS) que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave, con una precisión hasta de centímetros. Lo utilizaremos para obtener coordenadas y de esta manera referenciarlas con los cuadrantes existentes.

- ⇒ Cinta Métrica: se utilizará para realizar mediciones de distancias.

Longitud: 30 mts.

Marca: Trupper.

- ⇒ Machete: se utilizará para el labrado de los trompos así como para limpiar la visibilidad del que maneja la estación total

¹² Una exposición más completa de la metodología para realizar el estudio topográfico se encuentra en el Capítulo 3, sección 3.2.

Marca: Imacasa

- ⇒ Almádana: se utiliza para empotrar los trompos.
- ⇒ Libreta: se utiliza para recordar y plasmar cualquier dato, que sea necesario para el trabajo de oficina.
- ⇒ Vehículo Toyota rav 4: sunroof, mecánica 2.0 cm3, año 1997, paquete eléctrico, color azul, 5 rines especiales.
- ⇒ Cámara Fotográfica: se utiliza para llevar una memoria fotográfica del estudio topográfico

Marca: Panasonic

Modelo: Lumix

Con todos estos instrumentos se pretende medir indicadores de movimientos de laderas como por ejemplo: Escarpe principal y laterales, grietas, infraestructura, zonas de cultivos, cuerpos de agua (ríos, quebradas, lagos, lagunas, nacimientos de agua), etc.

II- *Estudio de Suelos¹³: habiendo completado el estudio topográfico, pasamos al estudio de suelos señalando en el plano la ubicación de los sondeos que se realizarán, este referido estudio busca obtener todas las propiedades físicas y mecánicas de los suelos del lugar, así como también la clasificación del tipo de suelo que existe en el lugar, para esto se han propuesto una serie de pruebas de laboratorio que logren cumplir con dicho objetivo y producir nueva información si es posible.*

¹³ Más información sobre la metodología para realizar el estudio de suelos se encuentra en el Capítulo 3, sección 3.3.

Algunos instrumentos que utilizaremos para la recolección de información geotécnica son:

- ⇒ Brújula: se utiliza para direccionar la muestra inalterada con el Norte Magnético.

- ⇒ GPS o SPG: sistema de posicionamiento global, es un sistema global de navegación por satélite (GNSS) que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave, con una precisión hasta de centímetros. Lo utilizaremos para obtener coordenadas de los sondeos de extracción de muestras alteradas e inalteradas.

- ⇒ Cinta Métrica: se utilizará para realizar mediciones de distancias.

Longitud: 30 mts.

Marca: Trupper.

- ⇒ Machete: se utilizará para el labrado de las muestras inalteradas.

Marca: Imacasa

- ⇒ Libreta: se utiliza para recordar y plasmar cualquier dato, que sea necesario para el trabajo de oficina.

- ⇒ Vehículo Toyota rav 4: sunroof, mecánica 2.0 cm3, año 1997, paquete eléctrico, color azul, 5 rines especiales.

- ⇒ Cámara Fotográfica: se utiliza para llevar una memoria fotográfica del estudio de suelos.

Marca: Panasonic

Modelo: Lumix

- ⇒ Equipos para obtener muestras alteradas e inalteradas

100 bolsas plásticas

100 etiquetas

Palas, piochas, manta, parafina, charolas, brochas y cajas para muestras

⇒ Equipos para realizar granulometría:

Tamices (3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/5", ¼", No 4, No 8, No 16, No 30, No 50, No 100, No 200)

Balanza con capacidad de 20Kg

Vibrador eléctrico

Horno eléctrico (temperatura 105 ± 5)

Bandejas, agitador de vidrio, brochas de cerda

⇒ Equipos para realizar gravedad específica:

Matraces con marca de aforo de 500ml

Balanza

Termómetro

Cocina

Piseta

Bandeja

⇒ Equipos para realizar límites de consistencia:

2 capsulas de porcelana

12 platillos dobles de cristal (vidrios de reloj)

2 Mallas No. 40 y una No. 4

2 Ranuradores

1 placa plástica con tres apoyos

3 placas de vidrio

1 Balanza de 0.01 gr. de precisión

4 capsulas de contracción de monel

2 copas de Casagrande

2 espátulas

Pie de rey, aceite, franelas, recipiente volumétrico de cristal y picetas

⇒ Equipo para realizar prueba Triaxial:

Torno para labrado.

Pie de rey

Cuchillo.

Arco con alambre acerado.

Membrana de látex.

Tijera

Molde cilíndrico.

Cronometro

Balanza de 0.1gr de precisión y Prensa Triaxial

⇒ Equipo para realizar prueba de Corte Directo:

Aparato de corte

Caja de corte

Cronometro

Balanza de precisión

Cucharón, deformimetro, horno de secado y espátula

III- *Estudio Hidrológico¹⁴: el cual busca obtener los caudales que pasan por la cuenca. Para efectuar dicho estudio es necesario haber completado el estudio topográfico y una parte del estudio de suelos (obtención de propiedades físicas). Asimismo se necesita recolectar cierta información como lo son cuadrantes para dibujar la cuenca o micro-cuenca en la que está ubicado el movimiento de laderas.*

¹⁴ Existe mayor información disponible sobre la metodología para ejecutar el estudio hidrológico en el Capítulo 3, sección 3.4.

En el desarrollo y ejecución del estudio hidrológico no se necesitaron instrumentos para recolectar datos de campo, ya que éste se realiza mayoritariamente con la información generada en los dos estudios anteriores y otra información complementaria que puede ser cuadrantes, usos del suelo, geología local y regional, etc.

También se levantará información del lugar y antecedentes del movimiento de laderas con personas del lugar (promotores de salud, promotores de las comunidades solidarias, protección civil, habitantes de la zona etc.).

Todo esto con el objetivo de obtener la mayor cantidad de información aprovechable para elaborar la investigación.

4.1.1.4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

Una vez recopilada la información se procede a su tabulación, análisis e interpretación.

Se deberán elaborar tablas y gráficos, así como también la aplicación de fórmulas para obtener otras variables como por ejemplo: la resistencia al corte de las laderas, el esfuerzo cortante, tipos de suelo existentes en el lugar, ángulo de fricción interna, longitud de grietas, ancho de grietas, etc.

4.1.1.5 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

Se presentarán a través de una exposición privada y pública, con la ayuda de diapositivas y un documento formal escrito.

Para finalizar las fase cuatro y cinco se incluyen en el Capítulo cuatro denominado “Resultados y Análisis”, cabe mencionar que también se elaboró el Capítulo cinco “Medidas de prevención de riesgo” y el Capítulo seis “Conclusiones y Recomendaciones”, todo con el objeto de presentar un documento integral que pueda satisfacer el problema de la investigación.

CAPITULO 2

MARCO TEORICO

2.1 MOVIMIENTOS DE LADERAS.

2.1.1 NOMENCLATURA DE UN TALUD O LADERA.

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente (Figura 2.1).

Las laderas que han permanecido estables por muchos años pueden fallar en forma imprevista debido a cambios topográficos, sismicidad, flujos de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, meteorización o factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad.

Los taludes se pueden agrupar en tres categorías generales: Los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención. Además, se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas.

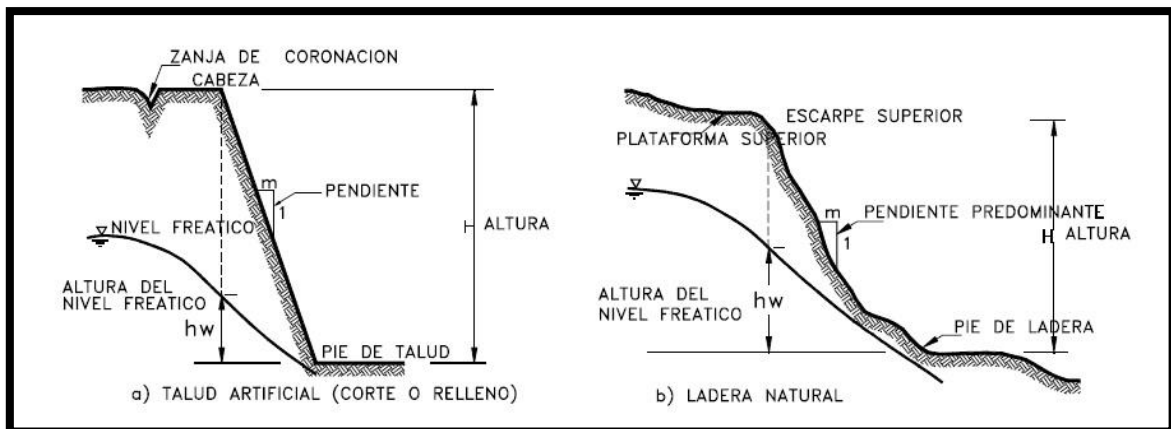


Figura 2.1 Nomenclatura de taludes y laderas.

En el talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos:

1. Altura.

Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.

2. Pie.

Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.

3. Cabeza o escarpe.

Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.

4. Altura de nivel freático.

Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.

5. Pendiente.

Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m/1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical.

Ejemplo: Pendiente: 45°, 100%, o 1H: 1V.

Existen, además, otros factores topográficos que se requiere definir como son longitud, convexidad (vertical), curvatura (horizontal) y área de cuenca de drenaje, los cuales pueden tener influencia sobre el comportamiento geotécnico del talud.

2.1.2 NOMENCLATURA DE LOS PROCESOS DE MOVIMIENTO.

Los procesos geotécnicos activos de los taludes y laderas corresponden generalmente, a movimientos hacia abajo y hacia afuera de los materiales que conforman un talud de roca, suelo natural o relleno, o una combinación de ellos.

Los movimientos ocurren generalmente, a lo largo de superficies de falla, por caída libre, movimientos de masa, erosión o flujos. Algunos segmentos del talud o ladera pueden moverse hacia arriba, mientras otros se mueven hacia abajo.

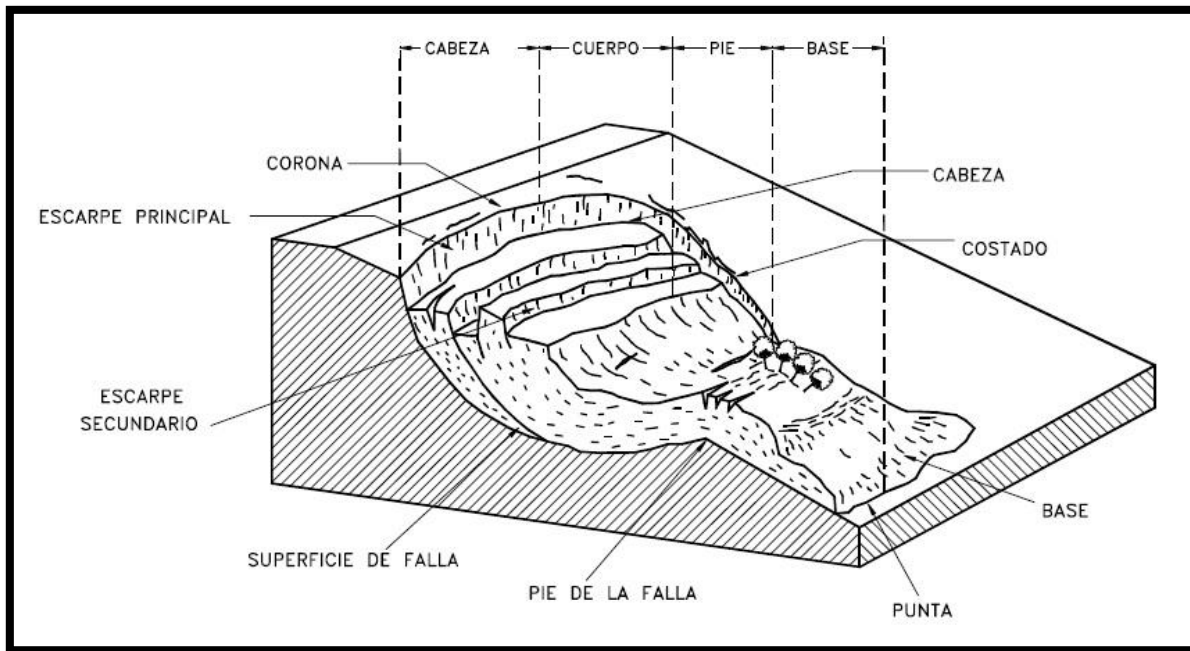


Figura 2.2 Nomenclatura de un deslizamiento.

En la figura 2.2 se muestra un deslizamiento o movimiento en masa típico, con sus diversas partes cuya nomenclatura es la siguiente:

1. Escarpe principal.

Corresponde a una superficie muy inclinada a lo largo de la periferia del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material fuera del terreno original. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla.

2. Escarpe secundario.

Una superficie muy inclinada producida por desplazamientos diferenciales dentro de la masa que se mueve.

3. Cabeza.

Las partes superiores del material que se mueve a lo largo del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

4. Cima.

El punto más alto del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

5. Corona.

El material que se encuentra en el sitio, prácticamente inalterado y adyacente a la parte más alta del escarpe principal.

6. Superficie de falla.

Corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. El volumen de suelo debajo de la superficie de falla no se mueve.

7. Pie de la superficie de falla.

La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.

8. Base.

El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

9. Punta o uña.

El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.

10. Costado o flanco.

Un lado (perfil lateral) del movimiento.

11. Superficie original del terreno.

La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.

12. Derecha e izquierda.

Para describir un deslizamiento se prefiere usar la orientación geográfica, pero si se emplean las palabras derecha e izquierda debe referirse al deslizamiento observado desde la corona mirando hacia el pie.

2.1.3 ETAPAS EN EL PROCESO DE FALLA.

La clasificación de deslizamientos pretende describir e identificar los cuerpos que están en movimiento relativo. Las clasificaciones existentes son esencialmente geomorfológicas y solamente algunas de ellas introducen consideraciones mecánicas o propiamente geológicas.

Las caracterizaciones geotécnicas son necesarias y por esta razón, las clasificaciones eminentemente topográficas y morfológicas, como las propuestas por Varnes (1978), Hutchinson (1988), etc., deben adaptarse a las condiciones verdaderas de los movimientos.

En este orden de ideas se deben considerar cuatro etapas diferentes en la clasificación de los movimientos:

- a. Etapa de deterioro o antes de la falla donde el suelo es esencialmente intacto.
- b. Etapa de falla caracterizada por la formación de una superficie de falla o el movimiento de una masa importante de material.
- c. La etapa post-falla que incluye los movimientos de la masa involucrada en un deslizamiento desde el momento de la falla y hasta el preciso instante en el cual se detiene totalmente.
- d. La etapa de posible reactivación en la cual pueden ocurrir movimientos que pueden considerarse como una nueva falla, e incluye las tres etapas anteriores.

2.1.4 MOVIMIENTOS DE MASA.

Los procesos geológicos y climáticos que afectan a la superficie terrestre crean el relieve y definen la morfología de las laderas, que van modificándose a lo largo del tiempo para adaptarse a nuevas condiciones geológicas o climáticas. Por lo general, las laderas adoptan pendientes naturales cercanas al equilibrio: ante el cambio de condiciones, su morfología se modifica buscando de nuevo el equilibrio. En este contexto, los movimientos de ladera pueden entenderse como los reajustes del terreno para conseguir el equilibrio ante un cambio de condiciones.

Entre las áreas más propensas a la inestabilidad, bajo un punto de vista global, están las zonas montañosas y escarpadas, zonas de relieve con procesos erosivos y de meteorización intensos, laderas de valles fluviales, zonas con materiales blandos y sueltos, con macizos rocosos arcillosos, esquistosos o alterables, zonas sísmicas, zonas de precipitación elevada, etc.

El estudio de los movimientos de ladera, con frecuencia englobados bajo el término general de deslizamientos, tiene muchos cambios comunes con los estudios de inestabilidad de laderas: los factores geomecánicos que controlan los procesos de rotura e inestabilidad, los mecanismos de rotura, métodos de análisis y modelización, métodos de corrección, estabilización e instrumentación.

Los deslizamientos en laderas pueden ser profundos y movilizar millones de metros cúbicos de material (Ver Figura 2.3); los mecanismos de roturas, además suelen ser complejos, estando condicionados por factores o procesos a escala geológica (fallas, procesos tectónicos, procesos geomorfológicos, flujos de agua subterránea, etc.) La inestabilidad en las laderas, se deben al desequilibrio de las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno, de tal forma que las fuerzas desestabilizadoras superan a las fuerzas estabilizadoras o resistentes. Este desequilibrio puede ser debido a una modificación de las fuerzas existentes o a la aplicación de nuevas fuerzas externas estáticas o dinámicas.

Los movimientos de ladera, por su gran extensión y frecuencia, constituyen un riesgo geológico muy importante, que afecta las edificaciones, vías de comunicaciones, etc., y

ocasionalmente a poblaciones. Los movimientos de gran magnitud son poco frecuentes, aunque en la superficie terrestre hay signos que denotan su ocurrencia en el pasado, posiblemente asociada a épocas climáticas húmedas y lluviosas o a actividad tectónica y sísmica.



Figura 2.3 Deslizamiento Colonia Las Colinas (2001).

Por otro lado, los deslizamientos son quizás los procesos naturales más previsible y más sensibles a las medidas de corrección y mitigación para la prevención de los daños que conllevan. Los movimientos de ladera engloban diferentes tipos de procesos, como los deslizamientos, desprendimientos, flujos y colada de barro o derrubios, reptaciones, avalanchas rocosas, etc.

2.1.5 CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DE MASA.

Las clasificaciones de los movimientos de la ladera suelen referirse a los tipos de materiales involucrados, distinguiendo generalmente entre materiales rocosos, derrubios y suelos, y al mecanismo y tipo de rotura, considerando también otros aspectos, como el contenido de agua del terreno y la velocidad, y magnitud del movimiento. Algunas de las clasificaciones más extendidas, con diversos criterios y fines, son de gran utilidad para abordar el estudio de los movimientos de laderas y el conocimiento del comportamiento de los materiales que sufren estos procesos (Tabla 2.1). También han sido establecidas clasificaciones específicas

para algunos materiales, como las arcillas, o para algunos tipos de movimientos, como los flujos.

2.1.5.1 CAÍDO.

En los caídos una masa de cualquier tamaño se desprende de un talud de pendiente fuerte, a lo largo de una superficie, en la cual ocurre ningún o muy poco desplazamiento de corte y descende principalmente, a través del aire por caída libre, a saltos o rodando.

El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido y puede o no, ser precedido de movimientos menores que conduzcan a la separación progresiva o inclinación del bloque o masa de material.

La observación muestra que los movimientos tienden a comportarse como caídos de caída libre cuando la pendiente superficial es de más de 75 grados. En taludes de ángulo menor generalmente, los materiales rebotan y en los taludes de menos de 45 grados los materiales tienden a rodar (Ver Figura 2.4).



Figura 2.4 Caída de rocas sobre lecho de Río El Pinar, San Ignacio, Chalatenango
(Foto: TRIFINIO/GTZ)

Los “caídos de roca” corresponden a bloques de roca relativamente sana, los caídos de residuos o detritos están compuestos por fragmentos de materiales pétreos y los caídos de tierra corresponden a materiales compuestos de partículas pequeñas de suelo o masas blandas (Ver Figura 2.5).

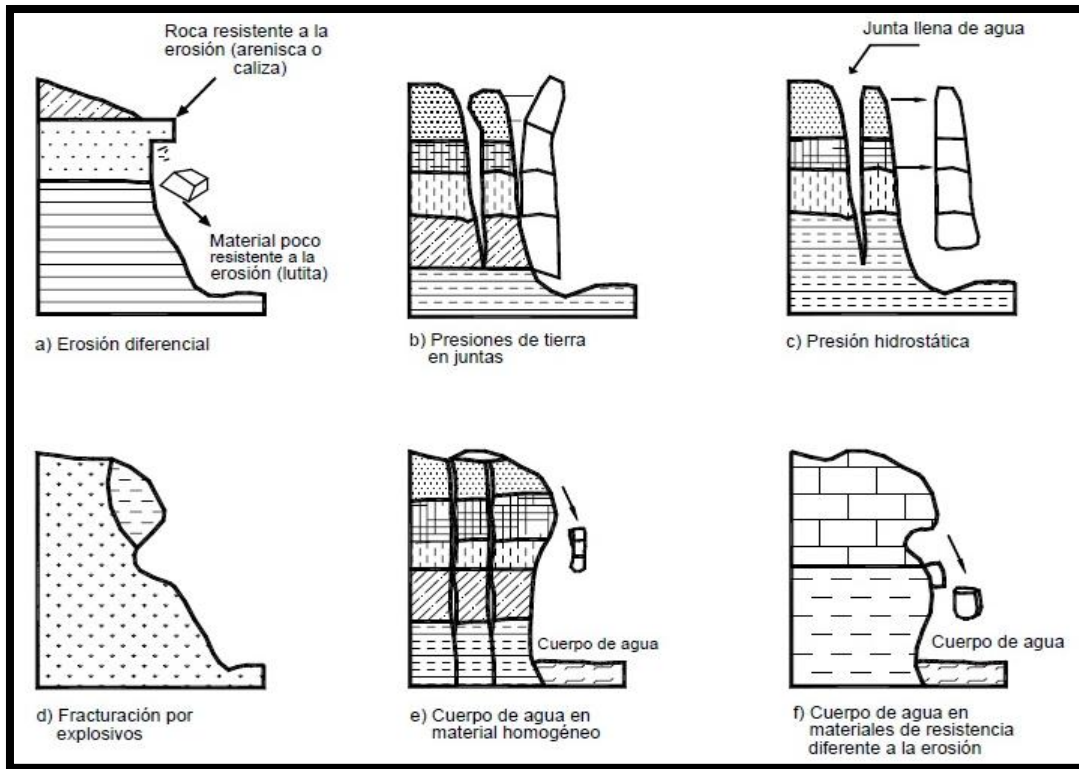


Figura 2.5 Algunos mecanismos de falla de caídos.

2.1.5.2 INCLINACIÓN O VOLTEO.

Este tipo de movimiento consiste en una rotación hacia adelante de una unidad o unidades de material térreo con centro de giro por debajo del centro de gravedad de la unidad y generalmente, ocurren en las formaciones rocosas. (Ver Figura 2.6).

Las fuerzas que lo producen son generadas por las unidades adyacentes, el agua en las grietas o juntas, expansiones y los movimientos sísmicos.

La inclinación puede abarcar zonas muy pequeñas o incluir volúmenes de varios millones de metros cúbicos.

Dependiendo de las características geométricas y de estructura geológica, la inclinación puede o no terminar en caídos o en derrumbes.

Las inclinaciones pueden variar de extremadamente lentas a extremadamente rápidas.

Las características de la estructura de la formación geológica determinan la forma de ocurrencia de la inclinación.



Figura 2.6 Inclinación o volteo en rocas y suelo.

2.1.5.3 REPTACIÓN.

La reptación consiste en movimientos muy lentos a extremadamente lentos del suelo subsuperficial sin una superficie de falla definida. Generalmente, el movimiento es de unos pocos centímetros al año y afecta a grandes áreas de terreno.

Se le atribuye a las alteraciones climáticas relacionadas con los procesos de humedecimiento y secado en suelos, usualmente, muy blandos o alterados.

La reptación puede preceder a movimientos más rápidos como los flujos o deslizamientos (Ver Figura 2.7).



Figura 2.7 Ilustración del fenómeno de Reptación.

2.1.5.4 DESLIZAMIENTOS EN MASA (traslacionales y rotacionales).

El deslizamiento en masa consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada (Figura 2.8). Los deslizamientos en masa pueden ser de una sola masa coherente que se mueve, o pueden comprender varias unidades o masas semi-independientes.

El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda la que sería la superficie de falla, sino que se va generando en un proceso gradual. La superficie de falla es una zona de determinado espesor, en la cual se producen cambios volumétricos y desplazamientos relacionados con la falla o rotura, al cortante de los materiales.

Los desplazamientos en masa se pueden subdividir en subtipos denominados deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales o planares y deslizamientos compuestos de rotación y traslación. Esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y el tipo de estabilización que se va a emplear.

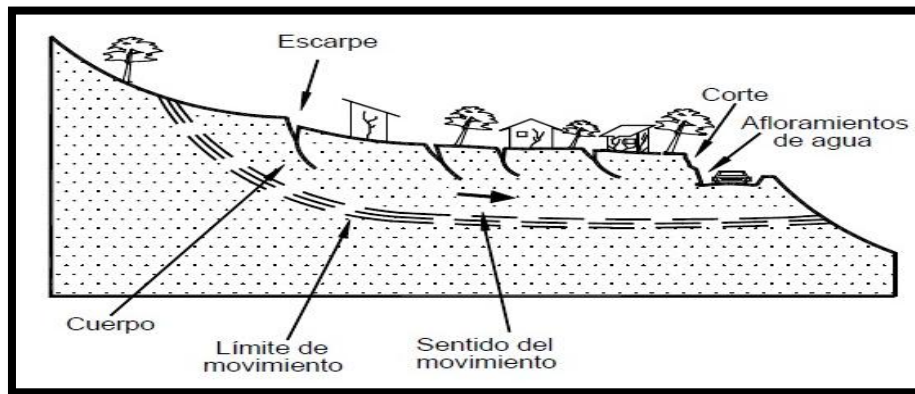


Figura 2.8 Deslizamientos en suelos blandos

a. Deslizamiento Rotacional

En un deslizamiento rotacional, la superficie de falla es cóncava hacia arriba y el movimiento es rotacional con respecto al eje paralelo a la superficie y transversal al deslizamiento.

El centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento. Visto en planta, el deslizamiento de rotación posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento.

El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento, lo cual genera, comúnmente, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento (Figura 2.9). La cabeza del movimiento bascula hacia atrás y los árboles se inclinan, de forma diferente, en la cabeza y en el pie del deslizamiento.

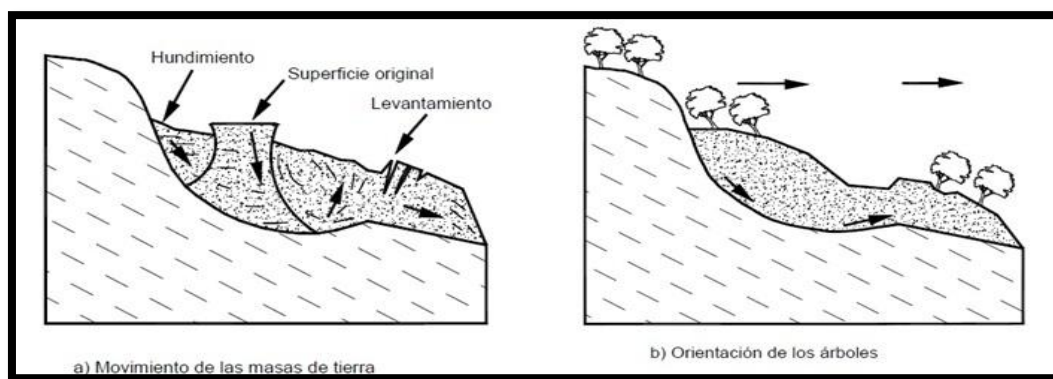


Figura 2.9 Deslizamiento rotacional típico.

a.1 Curvatura de la superficie de falla.

Los deslizamientos estrictamente rotacionales (círculos de falla) ocurren usualmente en suelos homogéneos, sean naturales o artificiales y debido a su facilidad de análisis son el tipo de deslizamiento más estudiado en la literatura. En las zonas tropicales cuando existe rotación, la superficie de falla generalmente es curva, pero no necesariamente circular, y está relacionada con la presencia de materiales residuales donde la resistencia al corte de los materiales aumenta con la profundidad. Sin embargo, en las zonas de meteorización muy profunda y en los rellenos de altura significativa, algunas superficies de falla se asemejan a círculos.

En la mayoría de los desplazamientos rotacionales se forma una superficie cóncava en forma de “cuchara” (Figura 2.10). Los desplazamientos rotacionales generalmente tienen una relación D_r/L_r entre 0.15 y 0.33.

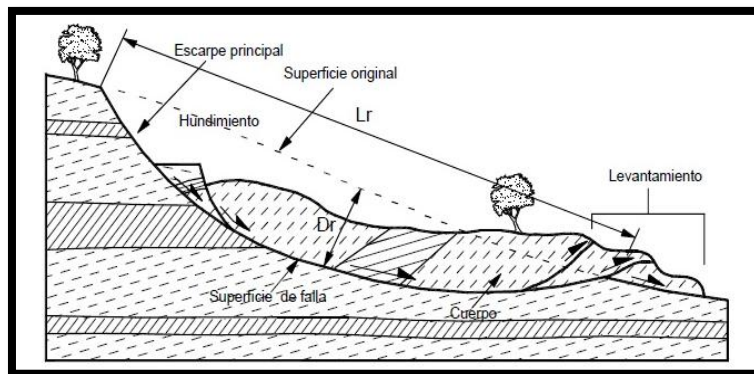


Figura 2.10 Desplazamiento de rotación en una ladera.

En la cabeza del movimiento, el desplazamiento aparentemente es semi-vertical y tiene muy poca rotación. No obstante, se puede observar que la superficie original del terreno gira en la dirección de la corona del talud, aunque otros bloques giren en la dirección opuesta.

La formación de los escarpes semi-verticales en los deslizamientos de rotación facilita la ocurrencia de movimientos progresivos hacia arriba.

Dentro del deslizamiento ocurren otros desplazamientos curvos que forman escarpes secundarios y ocasionalmente, ocurren varios desplazamientos sucesivos en su origen pero que conforman una zona de desplazamientos rotacionales independientes (Figura 2.11).

Los casos más conocidos de deslizamientos de rotación, se presentan en suelos arcillosos blandos con perfil profundo y en suelos residuales con perfiles meteorizados de gran espesor (Figura 2.12).

También se presentan con frecuencia en los terraplenes. Generalmente, la forma y localización de la superficie de falla está influenciada por las discontinuidades y juntas o planos de estratificación.

El efecto de estas discontinuidades debe tenerse muy en cuenta en el momento que se haga el análisis de estabilidad. Las superficies de falla pueden ser tangentes o secantes a esas zonas de debilidad.

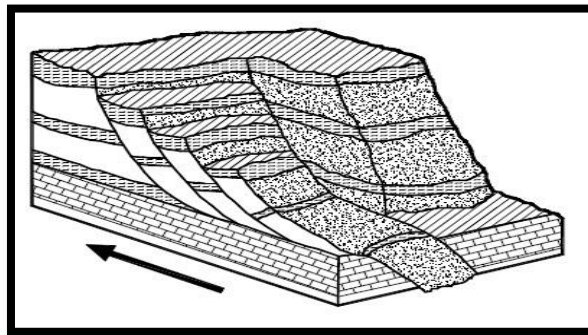


Figura 2.11 Deslizamientos sucesivos dentro de un movimiento general de rotación.

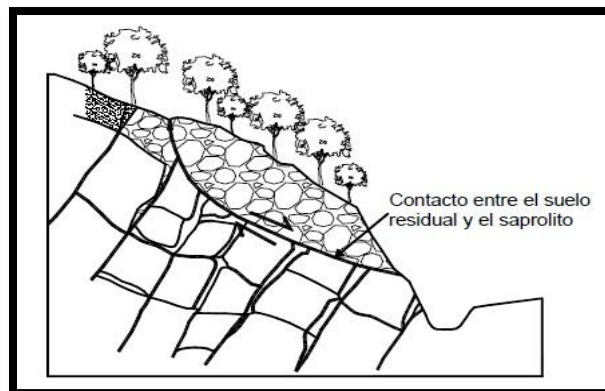


Figura 2.12 Desplazamiento rotacional en suelos residuales.

b. Deslizamiento de Traslación

En el desplazamiento de traslación la masa se desliza hacia afuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. Los movimientos traslacionales generalmente, tienen una relación D_r/L_r de menos de 0.1.

En muchos desplazamientos de traslación, la masa se deforma y/o se rompe y puede convertirse en flujo, especialmente en las zonas de pendiente fuerte.

b.1 Influencia de la estructura sobre los deslizamientos de traslación.

Los movimientos de traslación son comúnmente controlados por superficies débiles tales como fallas, juntas, fracturas, planos de estratificación, foliación, “slickensides” o por el contacto entre la roca y los suelos blandos o coluviones¹ (Figura 2.13).

A los movimientos sobre discontinuidades sencillas en roca, se les denominan deslizamientos de bloque, los cuales conforman unidades coherentes o grupos de unidades coherentes. Cuando ocurren a lo largo de dos discontinuidades, se les conocen como deslizamientos de cuña y cuando se presentan sobre varios niveles de una familia de discontinuidades, se les puede denominar falla en escalera.

¹ En geología, una “slickenside” es una superficie pulida causada por el movimiento de fricción entre las rocas a lo largo de los dos lados de una falla.

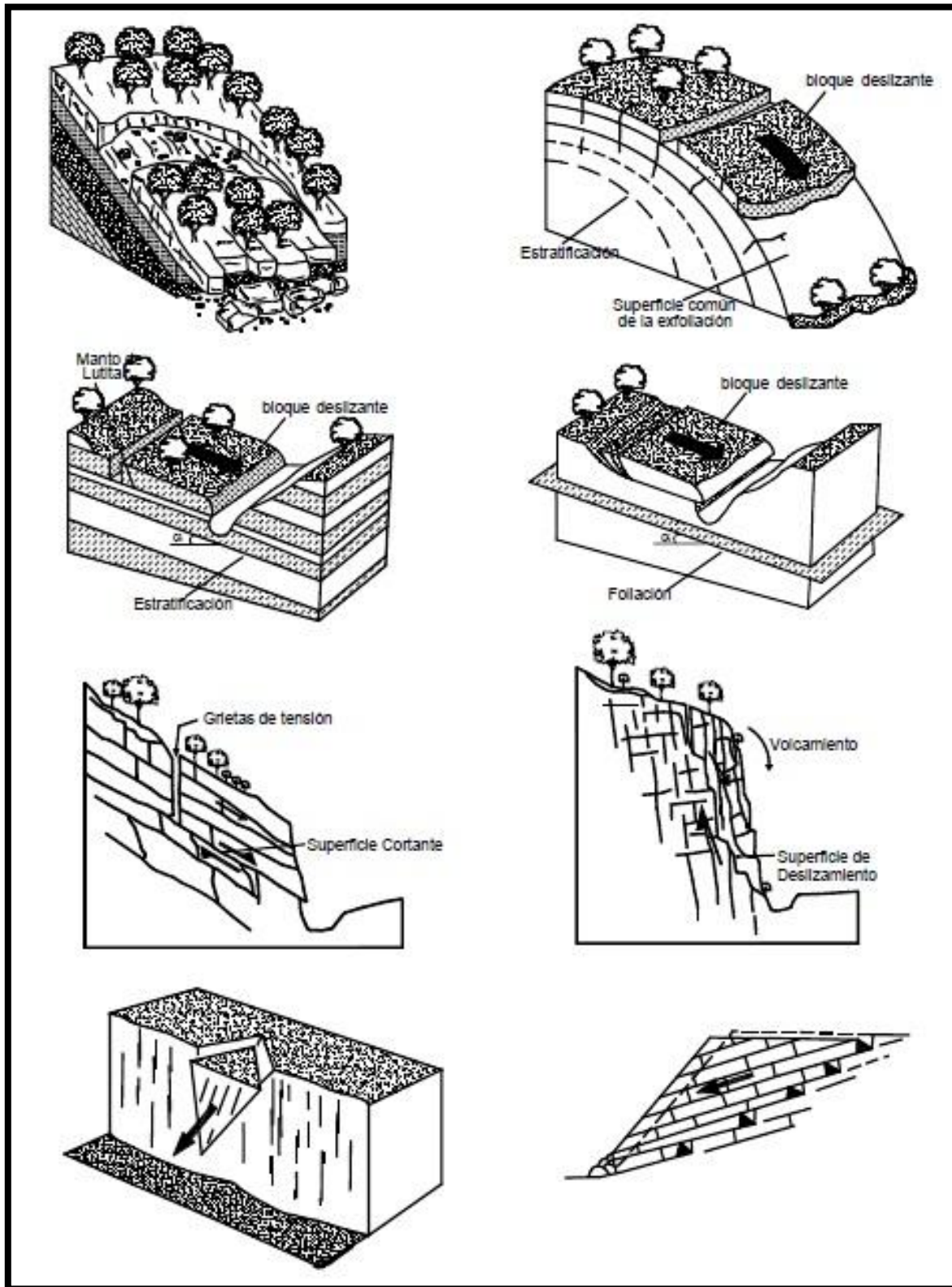


Figura 2.13 Ejemplos de desplazamientos de traslación.

b.2 Deslizamientos de traslación en suelos residuales.

En los suelos residuales las diferencias en la meteorización profundas propician la presencia de los deslizamientos de traslación.

Las superficies de falla generalmente coinciden con las zonas de cambio a la resistencia al cortante por efecto de la meteorización. Por ejemplo, en los suelos residuales de rocas ígneas y metamórficas con perfiles de meteorización profundos, son comunes los deslizamientos profundos sobre superficies de falla semi-planas. Los deslizamientos de traslación en suelos residuales, generalmente son rápidos y pueden terminar en flujos.

c. Diferencia entre los movimientos de rotación y de traslación.

En los movimientos de rotación la relación D/L es mayor de 0.15, mientras en los de traslación D/L es menor de 0.10. (Figura 2.14). En un movimiento de rotación, la masa trata de auto-estabilizarse, mientras en uno de traslación, puede progresar indefinidamente a lo largo de la ladera hacia abajo.

La diferencia más importante entre los movimientos de rotación y traslación se relaciona con la aplicabilidad o no, de los diversos sistemas de estabilización. Algunos sistemas de estabilización no son efectivos en los deslizamientos de rotación o de traslación.

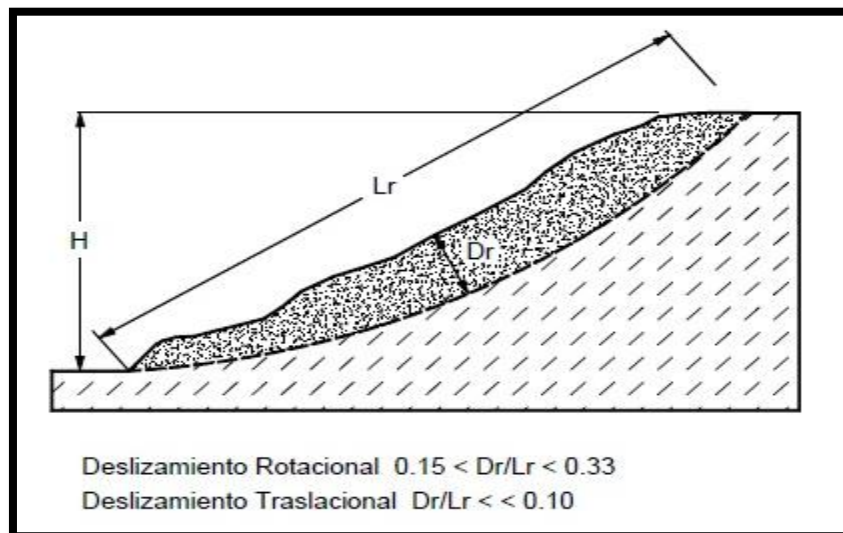


Figura 2.14 Relaciones D/L para deslizamientos de traslación y rotación

2.1.5.5 ESPARCIMIENTO LATERAL.

En los esparcimientos laterales el modo de movimiento dominante es la extensión lateral acomodada por fracturas de corte y tensión. El mecanismo de falla puede incluir elementos no solo de rotación y traslación sino también de flujo. Generalmente, los movimientos son complejos y difíciles de caracterizar (Figura 2.15). La tasa de movimiento es por lo general extremadamente lenta.

Los esparcimientos laterales pueden ocurrir en masas de roca sobre suelos plásticos y también se forman en suelos finos, tales como arcillas y limos sensitivos que pierden gran parte de su resistencia al remodelarse.

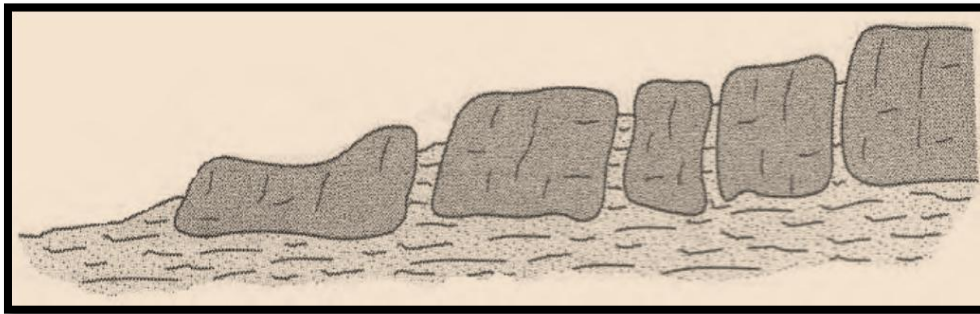


Figura 2.15 Esparcimiento lateral.

La falla es generalmente progresiva, o sea, que se inicia en un área local y se extiende.

Los esparcimientos laterales son muy comunes en sedimentos glaciales y marinos pero no lo son en zonas de suelos tropicales residuales. Se deben distinguir dos tipos así:

- Movimientos distribuidos en una extensión pero sin una superficie basal bien definida de corte o de flujo plástico. Esto ocurre predominantemente en rocas, especialmente en las crestas de serranías. La mecánica de este movimiento no es bien conocida.
- Movimientos que envuelven fracturas y extensión de roca o suelo, debido a licuación o flujo plástico del material subyacente. Las capas superiores pueden hundirse, trasladarse, rotarse, desintegrarse o pueden licuarse y fluir.

2.1.5.6 FLUJO.

En un flujo existen movimientos relativos de las partículas o bloques pequeños dentro de una masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla. Los flujos pueden ser lentos o rápidos, así como secos o húmedos y los puede haber de roca, de residuos o de suelo o tierra.

Los flujos muy lentos o extremadamente lentos pueden asimilarse en ocasiones, a los fenómenos de reptación y la diferencia consiste en que en los flujos existe una superficie fácilmente identificable de separación entre el material que se mueve y el subyacente, mientras en la reptación la velocidad del movimiento disminuye al profundizarse en el perfil, sin que exista una superficie definida de rotura.

La ocurrencia de flujos está generalmente, relacionada con la saturación de los materiales subsuperficiales. Algunos suelos absorben agua muy fácilmente cuando son alterados, fracturados o agrietados por un deslizamiento inicial y esta saturación conduce a la formación de un flujo.

Algunos flujos pueden resultar de la alteración de suelos muy sensitivos tales como sedimentos no consolidados.

Recientemente se han realizado estudios para cuantificar el nivel de lluvias que se requieren para producir flujos y es frecuente la ocurrencia de los flujos simultáneamente en sitios diferentes, dentro de una misma formación en el momento de una determinada lluvia de gran intensidad o de un evento sísmico.

a. Flujo en roca.

Los movimientos de flujo en roca comprenden las deformaciones que se distribuyen a lo largo de muchas fracturas grandes y pequeñas. La distribución de velocidades puede simular la de líquidos viscosos. Este tipo de movimiento ocurre con mucha frecuencia en zonas tropicales de alta montaña y poca vegetación, especialmente en la cordillera de los Andes (Figura 2.16).



Figura 2.16 Flujo en roca.

b. Flujo de residuos (Detritos).

Por lo general, un flujo de rocas termina en uno de residuos. Los materiales se van triturando por el mismo proceso de flujo y se puede observar una diferencia importante de tamaños entre la cabeza y el pie del movimiento.

El movimiento de los flujos de detritos puede ser activado por las lluvias, debido a la pérdida de resistencia por la disminución de la succión al saturarse el material o por el desarrollo de fuerzas debidas al movimiento del agua subterránea (Figura 2.17).



Figura 2.17 Flujo de detritos.

c. Flujo de suelo.

Los flujos de suelo también pueden ser secos y más lentos de acuerdo a la humedad y pendiente de la zona de ocurrencia (Figura 2.18).

En zonas de alta montaña y desérticas ocurren flujos muy secos, por lo general pequeños pero de velocidades altas.



Figura 2.18 Flujo de suelos.

d. Flujos de lodo.

Dentro de los flujos de tierra están los “flujos de lodo”, en los cuales los materiales de suelo son muy finos y las humedades muy altas y ya se puede hablar de viscosidad propiamente dicha, llegándose al punto de suelos suspendidos en agua. Los flujos de lodo poseen fuerzas destructoras grandes que dependen de su caudal y velocidad (Figura 2.19).



Figura 2.19 Flujo de lodo.

2.1.5.7 AVALANCHAS.

En las avalanchas la falla progresiva es muy rápida y el flujo desciende formando una especie de “ríos de roca y suelo” (Figura 2.20). Estos flujos comúnmente se relacionan con lluvias ocasionales de índices pluviométricos excepcionales muy altos, deshielo de nevados o movimientos sísmicos en zonas de alta montaña y la ausencia de vegetación, aunque es un factor influyente, no es un prerequisite para que ocurran.

Las avalanchas son generadas a partir de un gran aporte de materiales de uno o varios deslizamientos o flujos combinados con un volumen importante de agua, los cuales forman una masa de comportamiento de líquido viscoso que puede lograr velocidades muy altas con un gran poder destructivo y que corresponden generalmente, a fenómenos regionales dentro de una cuenca de drenaje. Las avalanchas pueden alcanzar velocidades de más de 50 metros por segundo en algunos casos.



Figura 2.20 Avalancha de detritos.

2.1.6 CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA.

Los factores que controlan los movimientos de las ladera son aquellos capaces de modificar las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno. En la Tabla 2.1 se indican sus efectos sobre el comportamiento y las propiedades de los materiales; los factores condicionantes (o “pasivos”), dependen de la propia naturaleza, estructura y forma del terreno, mientras que los desencadenantes (o “activos”) pueden ser considerados como

factores externos que provocan o desencadenan las inestabilidades y son responsables, por lo general, de la magnitud y velocidad de los movimientos.

A efectos de su incidencia en el comportamiento geomecánico de los suelos y las rocas, los factores o agentes que controlan los movimientos de laderas pueden agruparse en aquellos que contribuyen a reducir la resistencia al corte y aquellos que incrementan los esfuerzos de corte.

En la mayoría de casos son varias las causas que contribuyen al movimiento de una ladera; aunque con frecuencia se atribuye a la acción de algún factor desencadenante (lluvias, terremotos, etc.), las inestabilidades no se hubiesen producido de no existir una serie de condiciones predeterminadas que favorecen el fenómeno.

Dentro de los factores condicionantes, las propiedades físicas y resistentes de los materiales (directamente relacionadas con la litología) y las características morfológicas y geométricas de la ladera son fundamentales para la predisposición de la inestabilidad; otros factores importantes son la estructura geológica y discontinuidades, las condiciones hidrogeológicas y los estados tenso-deformaciones.

Se incluye a continuación algunos aspectos sobre los factores condicionantes:

El relieve juega un papel definitivo, ya que es necesaria cierta pendiente para que se produzcan los movimientos gravitacionales. Las regiones montañosas son las más propensas a los movimientos de la ladera. No obstante, en ocasiones, y dependiendo de otros factores, es suficiente una pendiente muy baja, de algunos grados, para que tengan lugar determinados tipos de inestabilidades, como los flujos de barro o tierra.

La estructura geológica, estratigrafía y litología, determinan la potencialidad de movimientos en los diferentes tipos de materiales rocosos y suelos, y la existencia de planos de discontinuidad que pueden actuar como superficies de rotura. Aspectos como la composición, resistencia, deformabilidad, grado de alteración y facturación, porosidad y permeabilidad determinan la posibilidad del terreno de sufrir roturas y desplazamientos bajo la actuación de determinados factores desencadenantes. En los macizos rocosos

fracturados, con zonas de alteración, etc., estas condiciones son predominantes sobre la litología.

El comportamiento hidrogeológico de los materiales está asociado a sus características litológicas y estructurales y el grado de alteración y meteorización, aspectos en íntima relación con las condiciones climáticas de una zona determinada. En regiones lluviosas es frecuente la presencia de importantes espesores de materiales alterados y meteorizados sobre los sustratos rocosos, y de niveles freáticos elevados que influyen decisivamente en las condiciones de estabilidad. El agua juega un doble papel negativo en la resistencia de los materiales:

Factores		Influencias y Efectos
Condicionantes	Relieve (pendientes, geometría)	Distribución del peso del terreno
	Litología (composición, textura)	Densidad, resistencia
		Comportamiento hidrogeológico
	Estructura geológica y estado tensional	Resistencia, deformabilidad
		Comportamiento discontinuo y anisótropo
		Zonas de debilidad
	Propiedades geomecánicas de los materiales	Comportamiento hidrogeológico
		Generación de presiones intersticiales
	Deforestación	Modificaciones en el balance hídrico
Erosión		
Meteorización	externa e interna, generación de zonas de debilidad	
Desencadenantes	Precipitaciones y aportes de agua	Variación de las presiones intersticiales y del peso del terreno.
		Saturación en suelos
	Cambio en las condiciones hidrológicas	Erosión
		Cambio en la distribución del peso de los materiales y en el estado tensional de la ladera
Aplicación de cargas estáticas y dinámicas	Incremento de presiones intersticiales	

Tabla 2.1 Influencia de los diferentes factores en las condiciones de los materiales y de las laderas².

² Posada Espinoza, Emilia Carlenin y otros. Caracterización de movimientos de ladera y propuestas de medida de estabilización en los cantones San Antonio Jocote dulce y Boquerón del municipio de Chinameca. Pág. 42. Tesis UES.

Reduce la resistencia al corte por la generación de presiones intersticiales y por la reducción de los parámetros resistentes en determinados tipos de suelos.

Aumenta los esfuerzos de corte por el incremento del peso del terreno por la generación de fuerzas desestabilizadoras en grietas y discontinuidades.

Las propiedades resistentes o geomecánicas controlan la resistencia al corte de los materiales y su rotura. Los suelos, por su carácter homogéneo e isótropo, presentan menor complejidad en su caracterización, mientras que los macizos rocosos, que pueden tener muy diferente grado de facturación, serán las propiedades de la matriz, de las discontinuidades o del macizo rocoso en su conjunto, las que determinen la resistencia y el comportamiento.

Con respecto a los factores desencadenantes los más importantes son las precipitaciones, los cambios en las condiciones hidrogeológicas de las laderas, la modificación de la geometría, la erosión y los terremotos; algunos de ellos, como los cambios de las condiciones de agua y de geometría, frecuentemente son consecuencia de acciones antrópicas.

2.1.7 CARACTERIZACIÓN DEL MOVIMIENTO.

Adicionalmente al tipo de movimiento es importante definir las características que posee en cuanto a secuencia, estado de actividad, estilo, velocidad, humedad, y material.

2.1.7.1 TIPO DE MATERIAL.

Los términos siguientes han sido adoptados como descripción de los materiales que componen un determinado movimiento del talud.

a. Roca.

Se denomina “Roca” a la roca dura y firme que estaba intacta en su lugar antes de la iniciación del movimiento.

b. Residuos.

Se denomina con el nombre de Residuos o “Detritos” al suelo que contiene una significativa proporción de material grueso. Se considera que si más del 20% del material en peso es mayor de 2 milímetros de diámetro equivalente, debe llamarse como Residuos.

Por lo general, deben existir partículas muchos mayores de 2 milímetros para que pueda considerarse de este modo.

c. Tierra.

Se denomina tierra, al material de un deslizamiento que contiene más del 80% de las partículas menores de 2 milímetros. Se incluyen los materiales desde arenas a arcillas muy plásticas.

2.1.7.2 HUMEDAD.

Se proponen cuatro términos para definir las condiciones de humedad así:

a. Seco: No contiene humedad “visible”.

b. Húmedo: Contiene algo de agua pero no posee agua (corriente) libre y puede comportarse como un sólido plástico pero no como un líquido.

c. Mojado: Contiene suficiente agua para comportarse en parte como un líquido y posee cantidades visibles de agua que pueden salir del material.

d. Muy mojado: Contiene agua suficiente para fluir como líquido, aún en pendientes bajas.

2.1.7.3 SECUENCIA DE REPETICIÓN.

La secuencia se refiere a movimientos que inician en un área local y progresan o se repiten en una determinada dirección. Varnes (1978) recomienda utilizar la siguiente terminología:

a. Progresivo.

La superficie de falla se extiende en la misma dirección del movimiento.

b. Retrogresivo.

La superficie de falla se extiende en dirección opuesta al movimiento

c. Ampliándose.

La superficie de falla se extiende hacia una u otra de las márgenes laterales

d. Alargándose.

La superficie de falla se alarga agregando continuamente volumen de material desplazado. La superficie de falla puede alargarse en una o más direcciones. El término alargándose puede utilizarse indistintamente con el término progresivo.

e. Confinado.

Se refiere a movimientos que tienen un escarpe visible pero no tienen superficie de falla visible en el pie de la masa desplazada.

f. Disminuyendo.

El volumen de material siendo desplazado, disminuye con el tiempo.

2.1.7.4 VELOCIDAD DEL MOVIMIENTO.

En la tabla 2.2 se indica la escala de velocidades de movimientos propuestas por el Transportation Research Board de los Estados Unidos, la cual se puede considerar como escala única de rata de movimiento. En algunos casos, ocurren velocidades diferentes de los diversos modos de movimiento y se requiere definir cada uno de ellos.

La velocidad del movimiento tiene gran influencia sobre el poder destructivo de un deslizamiento. Generalmente, los deslizamientos extremadamente rápidos corresponden a catástrofes de gran violencia, ocasionalmente con muchos muertos y cuyo escape es poco probable.

Por otro lado los movimientos extremadamente lentos son imperceptibles sin instrumentos y representan, en general un riesgo muy bajo de pérdida de vidas humanas.

Clase	Descripción	Velocidad (mm/seg)	Desplazamiento	Poder destructor
7	Extremadamente rápido	5×10^3	5 m/seg	Catástrofe de violencia mayor; edificios destruidos por el impacto o el material desplazado, muchas muertes; escape improbable.
6	Muy rápida	5×10^1	3 m/min	Alguna pérdida de vidas; velocidad demasiado alta para permitir a todas las personas escapar.
5	Rápida	5×10^{-1}	1,8 m/hora	Escape posible; estructuras, propiedades y equipos destruidos.
4	Moderada	5×10^{-3}	13 m/mes	Algunas estructuras temporales y poco sensitivas pueden mantenerse temporalmente.
3	Lenta	5×10^{-5}	1,6 m/año	Construcciones remediales pueden llevarse a cabo durante el movimiento. Algunas estructuras insensitivas pueden mantenerse con mantenimiento frecuente.
2	Muy Lenta	5×10^{-7}	16 mm/año	Algunas estructuras permanentes no son dañadas por el movimiento.
1	Extremadamente lenta			Imperceptibles sin instrumentos; construcción posible pero deben tenerse precauciones.

Tabla 2.2 Velocidad de los movimientos.³

2.1.7.5 ESTILO.

Varnes estableció una nomenclatura de actividad de deslizamiento cuando aparecen conjuntamente diferentes tipos de movimiento (figura 2.21):

a. Complejo.

Un deslizamiento complejo es aquel que tiene al menos dos tipos de movimiento, por ejemplo, inclinación y deslizamiento.

³ Deslizamientos – Análisis Geotécnico. Jaime Suarez, pág. 31.

b. Compuesto.

El término compuesto corresponde al caso en el cual ocurren simultáneamente varios tipos de movimiento en diferentes áreas de la masa desplazada.

c. Múltiple.

Se denomina como múltiple un deslizamiento que muestra movimientos repetidos del mismo tipo, generalmente, ampliando la superficie de falla.

Un movimiento sucesivo corresponde a movimientos repetidos pero que no comparten la misma superficie de falla.

d. Sencillo.

Corresponde a un solo tipo de movimiento.

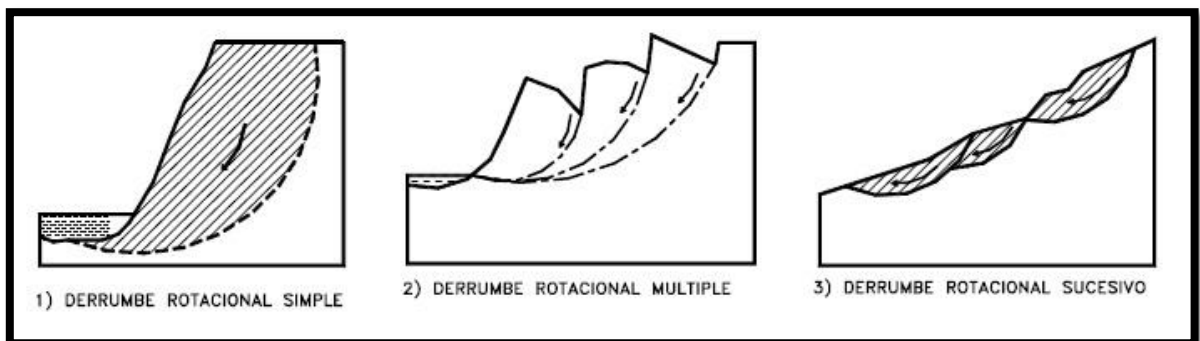


Figura 2.21 Deslizamientos rotacionales simples y múltiples.

2.1.7.6 ESTADO DE ACTIVIDAD.

a. Activo.

Deslizamiento que se está moviendo en los actuales momentos.

b. Reactivado.

Movimiento que está nuevamente activo, después de haber estado inactivo. Por ejemplo, deslizamientos reactivados sobre antiguas superficies de falla.

c. Suspendido.

Deslizamientos que han estado activos durante los últimos ciclos estacionales pero que no se está moviendo en la actualidad.

d. Inactivo.

Deslizamientos que llevan varios ciclos estacionales sin actividad.

e. Dormido.

Deslizamiento inactivo pero que las causas del movimiento aparentemente permanecen.

f. Abandonado.

Es el caso de un río que cambió de curso y que estaba produciendo un deslizamiento.

g. Estabilizado.

Movimiento suspendido por obras remediales artificiales.

h. Relicto.

Deslizamientos que ocurrieron posiblemente, hace varios miles de años se pueden llamar deslizamientos Relictos.

2.2 LLUVIAS Y SUS EFECTOS.

Los deslizamientos por causa de lluvias están relacionados con el volumen, intensidad y distribución de las precipitaciones. En consecuencia, es importante tomar en consideración la respuesta del terreno a precipitaciones durante horas, días, meses, años o incluso, durante ciclos de lluvia y sequía de varios años. La Lluvia contribuye a elevar el nivel de agua subterránea, ocasionando incrementos en las presiones intersticiales, aumento de peso, procesos de erosión interna y cambios mineralógicos, aspectos todos ellos que modifican las propiedades y resistencia de los suelos. Entre los numerosos casos de deslizamientos

causados por lluvias podemos mencionar: Los más de 18,000 deslizamientos desencadenados por una lluvia de 32 horas de duración en la bahía de San Francisco en 1982 y el deslizamiento en el volcán Casitas, ocurrido en Nicaragua durante las lluvias del huracán Mitch en 1998.

2.2.1 REGIMEN DE LLUVIAS.

La precipitación es el volumen o altura de agua lluvia que cae sobre un área en un período de tiempo, la cual tiene una influencia directa en la infiltración y en el régimen del agua subterránea, y a su vez afecta la estabilidad de taludes o laderas.

La precipitación promedio es muy superior en las zonas tropicales que en el resto del mundo. Estas lluvias son asociadas principalmente, con agrupaciones de nubes que ocurren en la zona de convergencia de vientos. Generalmente estas agrupaciones de nubes arrastradas por los vientos cubren áreas de varios miles de kilómetros cuadrados.

El estudio de la precipitación para analizar su efecto sobre los taludes puede realizarse desde varios puntos de vista.

2.2.1.1 AGUACEROS TORRENCIALES.

Es común en las zonas de montaña, la ocurrencia de aguaceros de gran magnitud en un período de tiempo de una o pocas horas. En el factor precipitación se debe tener en cuenta la intensidad de la máxima lluvia o de las lluvias más fuertes en una hora, en un día, mes o año y en algunas ocasiones la cantidad de lluvia en períodos menores a una hora.

En numerosos estudios se ha comprobado que el movimiento de un talud puede depender de la ocurrencia de lluvias. Para la falla de un talud puede requerirse una época de lluvias muy larga o puede ser suficiente un solo aguacero.

2.2.1.2 LLUVIAS ACUMULADAS.

La ocurrencia de lluvias, durante varios días consecutivos o con pocos días de diferencia, puede producir fenómenos de acumulación de agua subterránea, debido a que el talud no ha drenado el agua infiltrada de una lluvia cuando ocurre la siguiente y se produce un fenómeno de acumulación progresiva y ascenso del nivel freático.

2.2.1.3 CICLO HIDROLÓGICO EN EL TALUD.

Parte de la lluvia se infiltra y parte corre por la superficie como escorrentía.

$$\textit{Precipitación} = \textit{Evapotranspiración} + \textit{Escorrentía} + \textit{Flujo subterráneo} + \textit{cambio de humedad en el suelo} + \textit{Acumulación de agua subterránea en los acuíferos.}$$

El flujo subterráneo y los cambios en la cantidad de agua acumulada son críticos para la estabilidad de un talud, debido a que ellos controlan el balance hidrológico que puede alterar el grado de saturación y la elevación del nivel freático.

La respuesta del régimen de aguas subterráneas a las lluvias es diferente de acuerdo al talud, la formación geológica y las características ambientales.

Existe una respuesta inmediata a la lluvia por infiltración en las zonas cercanas al talud y una respuesta regional por las lluvias infiltradas en toda el área de afluencia alrededor del talud. En ocasiones, la respuesta regional puede tomar varios meses en presentarse, debido al recorrido que el agua realiza desde el sitio de infiltración.

2.2.1.4 INTENSIDAD DE LLUVIA QUE PRODUCE DESLIZAMIENTOS.

En estudios realizados se encontró que la intensidad de lluvia (I mm/h) que produce deslizamiento depende de la duración de la lluvia (D horas) de acuerdo a la expresión⁴:

$$I = 91.46 D^{-0.82} \quad (\text{Ec 2.1})$$

⁴ Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Jaime Suarez, pág. 236.

De acuerdo con estas investigaciones, en tormentas que tienen duraciones de hasta 10 horas, los deslizamientos no ocurren hasta que la intensidad alcanza valores tan altos como hasta tres veces la intensidad reportada para producir deslizamientos en áreas no tropicales.

2.2.1.5 TIEMPO DE LLUVIA QUE PRODUCE DESLIZAMIENTOS.

El tiempo que se requiere para que una lluvia produzca un deslizamiento es mayor en una arcilla que en un material arenoso, debido a las diferencias de infiltración. Este tiempo es inversamente proporcional a la permeabilidad para valores constantes de los demás parámetros.

2.2.2 HUMEDAD SUPERFICIAL.

La humedad de la superficie del terreno define factores tales como los porcentajes de escorrentía e infiltración y en algunas ocasiones el comportamiento de los taludes.

La humedad superficial está controlada por:

1. Características topográficas de la pendiente de los taludes.
2. Tipo de suelo.
3. Características climáticas.
4. Vegetación.

La humedad del suelo en la superficie del terreno puede determinar la posibilidad de agrietamiento de tensión en ciertos suelos areno-arcillosos y areno-limosos muy susceptibles a efectos de cambios de humedad. Este fenómeno es común en terraplenes de carreteras.

En términos generales, los factores ambientales y físicos que determinan el comportamiento de la infiltración dependen en buena parte de los 40 centímetros de suelo más superficial.

2.2.3 INFILTRACIÓN.

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

El porcentaje de infiltración corresponde a la proporción de lluvia que se infiltra. La infiltración a su vez puede dividirse entre aquella parte que contribuye a aumentar el contenido de agua de la zona no saturada y aquella que recarga el sistema saturado de agua subterránea.

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

a. Superficie del talud inundada. La intensidad de la lluvia en este caso es mayor que la cantidad de agua que puede infiltrarse dentro de la tierra. Por lo tanto, solamente parte de la lluvia se infiltra y el resto se convierte en escorrentía. En este caso, la condición de frontera es que la succión en la superficie del terreno es igual a 0 equivalente a saturación del 100%.

b. Infiltración controlada. La intensidad de la lluvia es menor que el flujo máximo de agua que se puede infiltrar en el talud. En este caso, la infiltración es controlada por la intensidad de la lluvia:

$$Q_{\text{infiltración}} = \text{Intensidad de la lluvia.}$$

La cantidad de agua que penetra o se infiltra en la tierra queda determinada por varios factores:

1. Cantidad, intensidad y tipo de precipitación.
2. Ritmo de precipitación. Cuanto más rápidamente cae la lluvia, menos agua penetra, pues se satura la superficie del terreno y no permite la infiltración rápida. Entre más lenta la lluvia, habrá más infiltración y menos escorrentía.
3. Pendiente superficial. La infiltración es mayor en terrenos más planos a los que corresponde velocidades de escurrimiento superficial menores.

4. La permeabilidad de los suelos y las rocas.

5. La estructura de suelos y rocas, especialmente en lo que se refiere a fracturación, estratigrafía y la secuencia de los estratos permeables y los impermeables. El tipo de material o suelo del talud va a determinar la infiltración relacionada con la succión y la permeabilidad.

6. Cantidad y tipo de vegetación.

Para determinar la cantidad de agua infiltrada es conveniente realizar un ensayo de infiltración. En esta prueba el agua es suministrada a una superficie expuesta a una rata controlada y el volumen total de agua infiltrada en varios intervalos de tiempo, es infiltrada contra el tiempo. En este ensayo se puede obtener, además, la permeabilidad de los materiales.

Una infiltración alta puede producir problemas de presión del agua interna, etc., que puede generar un deslizamiento. En el caso de que el talud llegue a saturarse, la facilidad o dificultad con que el talud se auto drena depende de las formaciones geológicas circundantes. La presencia de mantos permeables de evacuación de agua favorece grandemente su estabilidad.

2.2.4 FLUJO NO SATURADO.

Al infiltrarse el agua se forma inicialmente, un frente húmedo que avanza aproximadamente paralelo a la superficie del terreno, a una velocidad que depende de la permeabilidad, del grado de saturación y de la porosidad del material. Este frente húmedo puede alcanzar una superficie crítica en pocas horas, dependiendo de la fracturación y grado de meteorización.

Cuando las lluvias son muy intensas puede llegarse incluso, a la saturación completa del talud durante la lluvia. Al infiltrarse el agua de escorrentía se forma inicialmente un frente húmedo que avanza en sentido vertical, el cual satura los suelos a su paso, eliminando la succión o cohesión aparente que producía el estado de no-saturación.

El frente húmedo avanza a una velocidad de⁵:

$$v = k / (1-S) n \quad (\text{Ec 2.2})$$

Donde:

k: es la permeabilidad.

S: el grado inicial de saturación; y

n: la porosidad.

El frente húmedo desciende verticalmente bajo la influencia de la fuerza de gravedad, aún después de terminada la lluvia, hasta que encuentre el nivel freático o un manto impermeable (Figura 2.22). La llegada de un frente húmedo produce un ascenso en el nivel freático.

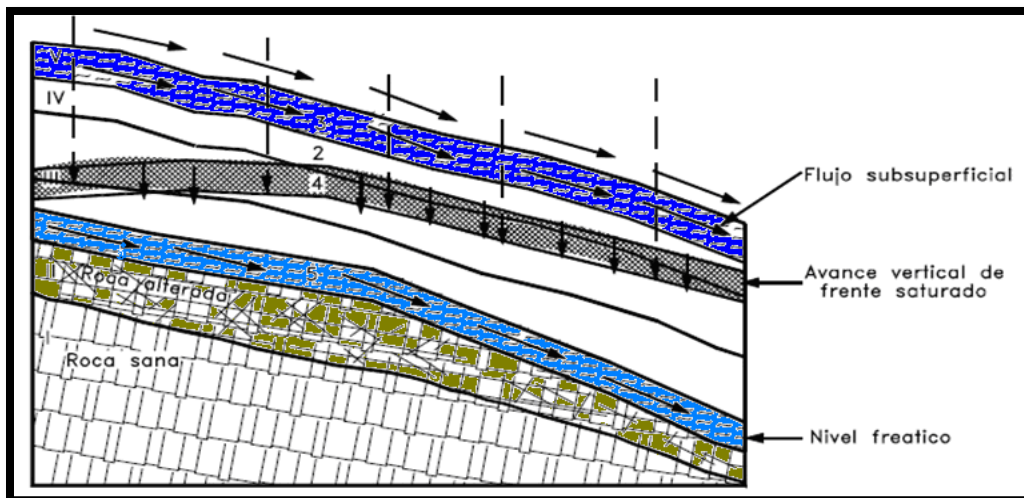


Figura 2.22 Diagrama del avance de un frente húmedo en materiales residuales.

2.2.4.1 SUCCIÓN.

La succión es un término muy utilizado para explicar el comportamiento de los suelos no saturados y la presencia de presiones de poro negativas.

⁵ Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas tropicales. Jaime Suarez, pág. 239.

La succión, está compuesta de dos elementos básicos: la succión matricial y la succión osmótica. La suma de los dos componentes se llama succión total.

La succión matricial se define como la diferencia entre la presión del aire y la presión de poros, y la succión osmótica depende de las características químicas del fluido en los poros.

La medición de la succión puede realizarse de varias formas: la medición de la succión matricial, equivalente a la energía requerida para mover una molécula de agua dentro de la matriz de suelo, y la succión total, que es la energía requerida para mover una partícula de agua desde el suelo a un estado de vapor. En un material granular libre de sales, la succión total y la succión matricial son iguales, en cambio si aparecen sales disueltas la succión osmótica puede alcanzar valores importantes.

2.2.5 NIVEL FREÁTICO.

La localización del nivel freático corresponde a la línea de presión de poros igual a cero, equivalente a que la presión neta en el sitio es igual a la presión atmosférica. El nivel de agua determina los niveles de presiones hidrostáticas sobre una superficie localizada por debajo de ese nivel o los valores de presión negativa o de succión para el suelo por encima. En taludes naturales de laderas, la línea de nivel freático general sigue una línea aproximadamente paralela a la superficie del terreno y esta sube por el recargue debido a la infiltración.

El agua subsuperficial puede dividirse entre zonas de presión de poros positiva y negativa. Las presiones de poro positivas son superiores y las negativas son inferiores a la presión atmosférica. La línea divisoria es el nivel freático donde la presión es igual a la presión atmosférica, la cual se designa como presión cero.

Por debajo del nivel freático el suelo se encuentra saturado, lo cual equivale a que el agua llena todos los poros de los suelos y todas las cavidades de los materiales infrayacentes. El agua existente en la zona de saturación se designa por lo general, como agua freática y su superficie superior es el nivel freático (figura 2.23). Cuando las circunstancias geológicas y

topográficas son más complejas podrá haber más de una zona de saturación y, por consiguiente, más de un nivel freático en una localidad determinada.

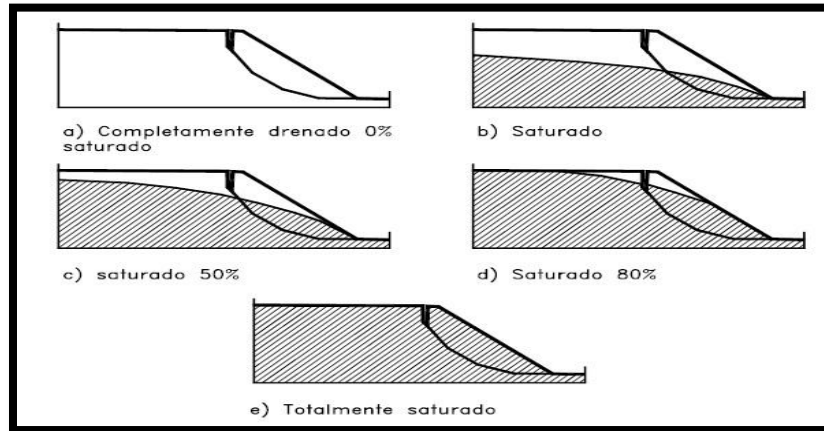


Figura 2.23 Saturación y niveles freáticos.

La elevación del nivel freático de una localidad determinada depende de varios factores, tales como las fluctuaciones de las precipitaciones y de los caudales y fugas de los cuerpos de agua.

El nivel de agua puede tener como base el pie del talud o puede estar suspendido por un manto impermeable dentro del talud. En el primer caso las fallas a producirse serán preferentemente de pie, mientras en el caso segundo las fallas tienden a ser a mitad del talud.

El nivel freático y en general la presencia de agua en los materiales en la proximidad de la superficie de falla, desempeñan un papel fundamental en la estabilidad y de hecho, hacen algo más complejo el mecanismo para la generación de las fallas.

La configuración del nivel freático depende de la forma del relieve superficial, el cual reproduce generalmente, sí bien con contornos menos abruptos y también depende de la permeabilidad del terreno y del abastecimiento de agua. Comúnmente, se aleja de la superficie del terreno bajo colinas y elevaciones y se acerca a ella en los valles y muy especialmente en los ríos y en los lagos.

Es usual que los periodos de sequía traigan abatimiento importante del nivel freático, en tanto que se eleva, tras periodos de fuertes lluvias. Estas fluctuaciones suelen ser muy

marcadas en terreno granulares permeables. El nivel de agua cambia con las lluvias y periodos secos en forma muy marcada en formaciones permeables y un poco menos fuerte en las impermeables y se tiene un máximo y mínimo cuya diferencia en algunos casos puede ser hasta de más de un metro.

El nivel freático puede ascender bruscamente durante un evento lluvioso intenso y bajar nuevamente después de la lluvia.

2.2.6 PRESIÓN DE POROS.

La presión de poros es la presión interna del agua de saturación. La presión de poros dentro del suelo depende de la localización de los niveles freáticos, presiones internas de los acuíferos y las características geológicas del sitio (figura 2.24).

La presión de poros varía de acuerdo a las variaciones del régimen de aguas subterráneas. Los incrementos de presión pueden ocurrir rápidamente en el momento de una lluvia, dependiendo de la intensidad de la lluvia, de la rata de infiltración del área tributaria, etc. Un incremento en la presión de poros positiva o una disminución de la presión negativa, equivale a una reducción de resistencia al cortante y de la estabilidad.

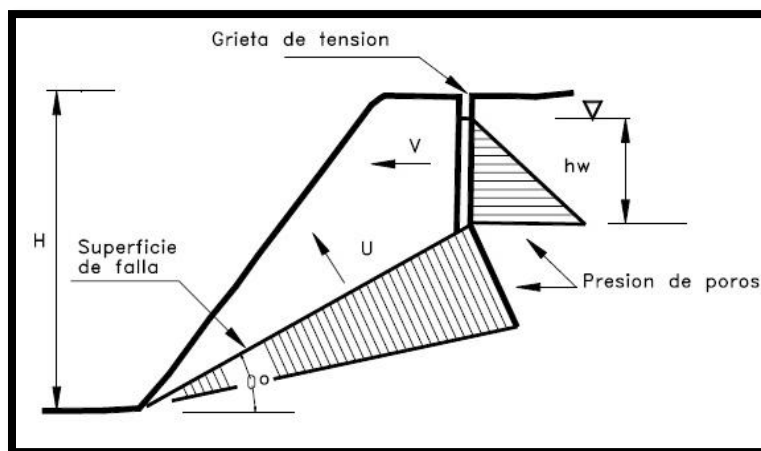


Figura 2.24 Presión de poros sobre una superficie de falla potencial.

2.2.7 FLUJO SATURADO.

La infiltración unida a fenómenos de transporte interno de agua produce un régimen de aguas subterráneas. La conducción interna de agua puede ser a través de una formación permeable o a través de juntas o fallas. El flujo de agua subterránea es generalmente, muy lento y laminar, sin embargo, el flujo turbulento puede ocurrir dentro de conductos internos de gran tamaño o porosidades muy altas como es el caso de cavernas en calizas o en gravas muy porosas. En el flujo laminar el movimiento de agua junto a las partículas o paredes de los intersticios es posiblemente quieto por la atracción molecular. El agua a cierta distancia de las paredes tiene un patrón trenzado de acuerdo a las características de los vacíos.

Al estudiar el comportamiento de las aguas subterráneas, su almacenamiento, sus movimientos y su afloramiento eventual, juegan un papel fundamental consideraciones de orden geológico, tanto referentes a características de superficie como las formaciones más profundas.

2.2.7.1 FLUJO EN ROCAS Y EN SUELOS RESIDUALES.

Las rocas volcánicas pueden albergar también manantiales, a veces su porosidad es muy grande, pero sus poros no necesariamente están intercomunicados. El agua corre en ella sobre todo, a través de grietas formadas al enfriarse fracturas causadas por deformación y en las soluciones de continuidad entre derrames sucesivos.

Las rocas ígneas cristalinas y las rocas metamórficas pueden ser las menos abundantes en agua y la poca agua presente procede de sus fracturas.

Las areniscas y las rocas sedimentarias permeables son formaciones acuíferas importantes, y presentan grandes flujos de agua especialmente, en la dirección de la estratificación. Las calizas, son muy variables como formaciones acuíferas, pues su porosidad depende mucho de su disolución interna, pero cuando ésta es importante, puede dar lugar a abundantes manantiales, ríos subterráneos, etc.

2.3 AMENAZAS SÍSMICAS.

2.3.1 SISMOLOGÍA EN EL SALVADOR.

El Salvador se encuentra en una región de intensa actividad sísmica, generada por el proceso de subducción de la placa de Cocos bajo la del Caribe y por la activación de las fallas geológicas, tanto locales como de los países vecinos Guatemala y Honduras (figura 2.25).

Existen datos acerca de los sismos que han afectado a El Salvador desde el 23 de mayo de 1576, cuando un sismo ocasionó la destrucción de la capital. Otros sismos importantes sucedieron el 30 de septiembre de 1659 y el 16 de abril de 1854. Durante el siglo XX, se produjeron numerosos sismos, cuatro de ellos con magnitud igual o superior a 7.0.

Es evidente, por tanto, que El Salvador se encuentra en una región con un alto índice de actividad sísmica que forma parte integral de su historia.

Las principales fuentes generadoras de sismos en el territorio nacional son:

1. La cadena volcánica que recorre el país paralelamente a la costa del Pacífico y forma parte del cinturón de fuego del Pacífico.
2. Un sistema de fallas geológicas con dirección predominante noroeste-sureste dentro del territorio salvadoreño.
3. El proceso de subducción entre las placas de Cocos y del Caribe, cuyo movimiento relativo origina sismos cercanos a las costas salvadoreñas.
4. Un sistema de fallas geológicas en Guatemala que definen la frontera entre la placa de Norteamérica y la placa del Caribe.
5. Un sistema de fallas geológicas con dirección Norte-Sur, ubicada en la depresión de Honduras.

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN



Figura 2.25 Mapa de Zonificación Sísmica, El Salvador 2002

Los movimientos sísmicos pueden activar deslizamientos de tierra. En el caso de un sismo existe el triple efecto de aumento de esfuerzo cortante, disminución de resistencia por aumento de la presión de poros y deformación asociados con la onda sísmica; pudiéndose llegar a la falla al cortante y hasta la licuación, en el caso de suelos granulares saturados.

Los factores que deben tenerse en cuenta para el análisis de taludes y laderas expuesto a eventos sísmicos son los siguientes:

- a. El valor de las fuerzas sísmicas aplicadas sobre las masas de suelo potencialmente deslizables.
- b. La disminución de la resistencia debida a las cargas vibratorias, las cuales inducen deformaciones cíclicas, esta resistencia puede disminuirse en más del 50% en suelos sensitivos y en la mayoría de los casos, la disminución de resistencia puede llegar a un 20% durante el sismo.

- c. El aumento de presión de poros especialmente, en suelos limosos y arenas finas, en los cuales se puede producir una disminución de resistencia tal que produzca el fenómeno de licuación.
- d. El aumento de fuerza sísmica generado por la amplificación en los mantos de suelos blandos.
- e. La posibilidad de ocurrencia de fenómenos de resonancia relacionados con la similitud entre la frecuencia natural de vibración del talud y la del evento sísmico.
- f. La magnitud de las deformaciones en la masa de suelo.

Las situaciones adquieren un alto grado de criticidad cuando se combinan altas susceptibilidades, debidas a factores topográficos, geológicos, climáticos y sísmicos.

2.3.2 SISMICIDAD.

Cuando se produce la fractura de la roca en una zona de falla geológica, la energía liberada es radiada en todas las direcciones. La fuente del movimiento o zona de liberación de energía no es generalmente, un punto sino una línea o un área comúnmente alargada en la dirección de la falla. Los sismos que generalmente producen un mayor daño son los sismos relativamente superficiales. El área de superficie inmediatamente encima del área de liberación de energía se le denomina epicentro o área epicentral.

La gran mayoría de los grandes deslizamientos y agrietamientos del suelo de gran magnitud corresponden al área epicentral y van disminuyendo a medida que el punto considerado se aleja del área epicentral y la intensidad del sismo disminuye. Existen dos parámetros importantes para designar el tamaño y la fuerza de un sismo que son la magnitud y la intensidad.

2.3.2.1 MAGNITUD.

La magnitud es una medida cuantitativa e instrumental del tamaño del evento, relacionada con la energía sísmica liberada durante el proceso de ruptura en la falla. La magnitud es una constante única que se asigna a un sismo dado y es independiente del sitio de observación.

Richter definió la magnitud de sismos locales como: El logaritmo en base 10 de la máxima amplitud de la onda sísmica, expresada en milésimas de milímetro (micrones), registrada en un sismómetro estándar a una distancia de 100 kilómetros del epicentro del evento (ver tabla 2.3)⁶.

Magnitud del sismo	Tipo de deslizamiento producido
4.0	Caídos de roca, deslizamientos de roca, caídos de suelo y alteración de masa de suelo
4.5	Deslizamiento de traslación, rotación y bloques de suelo.
5.0	Flujos de suelo, esparcimientos laterales, deslizamientos subacuáticos.
6.0	Avalanchas de roca.
6.5	Avalanchas de suelo.

Tabla 2.3 Posibilidad de deslizamientos causados por sismos.

2.3.2.2. INTENSIDAD.

La intensidad sísmica es un concepto que se aplica a la identificación del grado de destrucción o efectos locales de un terremoto.

La intensidad, que es una medida relativa de la fuerza sísmica en un punto determinado, depende de la magnitud del sismo, la profundidad de la zona de liberación de energía, de las características físicas locales del sitio y la distancia del sitio al área epicentral.

Existen fórmulas para relacionar la magnitud y la intensidad como la propuesta por

Gutenberg y Richter (1954)⁷:

$$\text{Magnitud} = 1 + \frac{2}{3} \text{Intensidad} \quad (\text{Ec } 2.3)$$

Esta fórmula, no tiene en cuenta la profundidad de los temblores pero muestra que existe una relación entre las dos formas de medir los sismos (ver tabla 2.4)⁸.

⁶ Deslizamientos y estabilidad de Taludes en zonas tropicales. Jaime Suarez, pág. 304.

⁷ Deslizamientos y estabilidad de Taludes en zonas tropicales. Jaime Suarez, pág. 305.

⁸ Deslizamientos y estabilidad de Taludes en zonas tropicales. Jaime Suarez, pág. 306.

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN

Grado	Descripción
I	No es sentido por las personas, registrado por los instrumentos sismográficos.
II	Sentido solo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos superiores, objetos suspendidos pueden oscilar.
III	Sentido en el interior de las edificaciones, especialmente en pisos superiores, pero muchos pueden no reconocerlo como temblor, vibración semejante a la producida por el paso de un vehículo liviano, objetos suspendidos oscilan.
IV	Objetos suspendidos oscilan visiblemente, vibración semejante a la producida por el paso de un vehículo pesado, vehículos estacionados se bambolean, cristalería y vidrios suenan, puertas y paredes de madera crujen.
V	Sentido aún en el exterior de los edificios, permite estimar la dirección de las ondas, personas dormidas se despiertan, el contenido líquido de recipientes y tanques es perturbado y se puede derramar, objetos inestables son desplazados, las puertas giran y se abren o cierran, relojes de péndulo se paran.
VI	Sentido por todas las personas, muchos sufren pánico y corren hacia el exterior, se tiene dificultad en caminar establemente, vidrios y vajillas se quiebran, libros y objetos son lanzados de los anaqueles y estantes, los muebles son desplazados o volcados, el revoque y enlucido de mortero de baja calidad y mampostería tipo D se fisuran, campanas pequeñas tañen.
VII	Se tiene dificultad en mantenerse parado, percibido por los conductores de vehículos en marcha, muebles se rompen, daños y colapso de mampostería tipo D, algunas grietas en mampostería tipo C, las chimeneas se fracturan a nivel de techo, caída del revoque de mortero, tejas, cornisas y parapetos sin anclajes, algunas grietas en mampostería de calidad media, campanas grandes tañen, ondas en embalses y depósitos de agua.
VIII	La conducción de vehículos se dificulta, daños de consideración y colapso parcial de mampostería tipo C, algún daño a mampostería tipo B, ningún daño en mampostería tipo A, caída del revoque de mortero y de algunas paredes de mampostería, caída de chimeneas de fábricas, monumentos y tanques elevados, algunas ramas de árboles se quiebran, cambio en el flujo o temperatura de pozos, grietas en terreno húmedo y en taludes inclinados.
IX	Pánico general, construcciones de mampostería tipo D totalmente destruidas, daño severo y aún colapso de mampostería tipo C, daño de consideración en mampostería tipo B, daño a fundaciones, daños y colapso de estructuras a porticadas, daños de embalses y depósitos de agua, ruptura de tubería enterrada, grietas significativas visibles en el terreno.
X	La mayoría de las construcciones de mampostería y a base de pórticos destruidas, algunas construcciones de madera de buenas calidades dañadas, puentes destruidos, daño severo a represas, diques y terraplenes, grandes deslizamientos de tierra, el agua se rebasa en los bordes de ríos, lagos y embalses, rieles de ferrocarril deformados ligeramente.
XI	Los rieles de ferrocarril deformados severamente, ruptura de tuberías enterradas que quedan fuera de servicio
XII	Destrucción total, grandes masas de roca desplazadas, las líneas de visión óptica distorsionadas, objetos lanzados al aire.

Tabla 2.4 Escala de intensidad Mercalli Modificada.

La mayoría de los grandes deslizamientos están relacionados con eventos sísmicos de gran magnitud en el cinturón del Pacífico de gran magnitud y foco poco profundo. La ocurrencia de una falla en materiales secos por acción de un sismo es particularmente grave en taludes de gran altura por el aumento de esfuerzos en el pie y la falla a tensión en la mitad superior del talud. Es común que después de un sismo fuerte aparezcan grietas de tensión en taludes de gran altura. La dificultad que se presenta es la carencia de sistemas que permitan incorporar el análisis sísmico a los métodos matemáticos de análisis de taludes aplicables a suelos residuales.

2.3.3 ANALISIS DE AMENAZA SISMICA.

El análisis de amenaza sísmica incluye la predicción cuantitativa de la intensidad del sismo en un sitio en particular. Las amenazas pueden analizarse determinísticamente o probabilísticamente.

El primer paso en el análisis es la identificación y evaluación de las fuentes de sismos y para ello se utilizan las evidencias geológicas, la actividad de las fallas, las evidencias tectónicas y la sismicidad histórica e instrumental.

La teoría de placas tectónicas es la base de los análisis sísmico-geológicos o Paleosismología. La actividad de las fallas es un elemento muy importante para determinar si una falla representa una amenaza sísmica y es corriente diferenciar las fallas activas de las inactivas.

La sismicidad histórica permite confirmar la ocurrencia de sismos en el pasado y estimar la distribución geográfica de intensidad; sin embargo la sismicidad instrumentales la herramienta más útil para el análisis de amenaza sísmica.

En la actualidad existen instrumentos en la mayoría de las zonas sísmicas del mundo que permiten determinar las características y localización de prácticamente todos los eventos sísmicos que ocurren.

2.3.4 SUSCEPTIBILIDAD SISMICA.

Algunos materiales son susceptibles a fallar por acción de un evento sísmico. Para el análisis de la susceptibilidad sísmica se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- Subsistencia sísmica.
- Fragilidad.
- Licuefacción.
- Dilatancia.

2.4 FACTORES DE ORIGEN ANTRÓPICO.

Las actuaciones humanas ocupan un lugar importante dentro de los factores que modifican las condiciones y fuerzas que actúan sobre las laderas. Las excavaciones, la construcción de presas y embalses, las sobrecargas de edificios, estructuras, terraplenes, rellenos o escombreras sobre las laderas y las voladuras en zonas cercanas, entre otras, modifican los estados tenso-deformacionales del terreno y sus propiedades geotécnicas, generando inestabilidades.

Las principales causas de desestabilización son los cambios de geometría y pendiente, los cambios en las condiciones hidrogeológicas y las fuerzas estáticas externas. Las excavaciones superficiales para vías de comunicación y transporte, minería u otras obras, varían los perfiles de equilibrio de las laderas y pueden desencadenar movimientos de laderas, dependiendo de otros factores condicionantes, como la estructura geológica, la resistencia y contenido de agua del terreno. En laderas con inestabilidad naturales antiguas o activas, o en condiciones cercanas al equilibrio límite, la excavación de taludes frecuentemente provoca la reactivación o aceleración de los movimientos. Las excavaciones más desfavorables son las realizadas al pie de las laderas (por soportar estas zonas las mayores tensiones), situación frecuente en la construcción de vías de comunicación por valles o zonas bajas de las laderas.

Las excavaciones influyen igualmente en la alteración del sistema de drenaje superficial y en la modificación del comportamiento hidrogeológico de la ladera, al variar los niveles freáticos y los flujos, o dar lugar a la acumulación de agua en determinadas zonas.

Las principales modificaciones causadas por el hombre son:

2.4.1 CAMBIOS EN LA TOPOGRAFÍA Y CARGAS DEL TALUD.

- a. Descargue del talud por remoción de suelos y rocas por corte.
- b. Sobrecarga por medio de rellenos, edificios, etc.
- c. Subsistencia o hundimiento por excavaciones subterráneas (túneles).

2.4.2 CAMBIOS EN LAS CONDICIONES DE HUMEDAD.

- a. Modificación de las condiciones naturales del agua superficial por medio de canales, zanjas, represas, etc.
- b. Modificación de las condiciones naturales del agua subterránea por medio de pozos de bombeo, concentración de las infiltraciones, etc.
- c. Infiltración de ductos de agua, especialmente acueductos y alcantarillados.
- d. Aceleración de infiltración por la presencia de depósitos de basura y residuos sobre el talud.
- e. Negligencia en el drenaje superficial y subterráneo.
- f. Cambio general en el régimen de aguas superficiales.
- g. Construcción de reservorios o presas.

2.4.3 CAMBIOS EN LA COBERTURA VEGETAL

- a. Cambio de la estructura y condiciones de la capa superficial de suelo por prácticas de agricultura, pastoreo, tala de bosques, etc.
- b. Modificación del uso del suelo.

2.5 RIESGOS Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN.

2.5.1 DEFINICION DE TERMINOS.

De acuerdo a la Sección Educativa del SNET⁹ se definen a continuación los siguientes términos:

Adaptabilidad:

Capacidad o habilidad de un grupo social de ajustarse a cambios ambientales con fines de supervivencia y sostenibilidad.

Amenaza (Hazard):

Peligro latente que representa la posible manifestación dentro de un período de tiempo y en un territorio particular de un fenómeno de origen natural, socio-natural o antrópogenico, que puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes y servicios y el ambiente. Es un factor de riesgo externo de un elemento o grupo de elementos expuestos, que se expresa como la probabilidad de que un evento se presente con una cierta intensidad, en un sitio específico y en dentro de un periodo de tiempo definido.

Análisis de riesgo:

En su forma más simple es el postulado de que el riesgo es el resultado de relacionar la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los

⁹ Servicio Nacional de Estudios Territoriales. <http://www.snet.gob.sv/ver/seccion+educativa>

posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios fenómenos peligrosos. Cambios en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo en sí mismo, es decir, el total de pérdidas esperadas y consecuencias en un área determinada.

Elementos en riesgo (expuestos):

Es el contexto social, material y ambiental representado por las personas y por los recursos, servicios y ecosistemas que pueden ser afectados por un fenómeno físico.

Evaluación de la amenaza:

Es el proceso mediante el cual se determina la posibilidad de que un fenómeno se manifieste, con un determinado grado de severidad, durante un período de tiempo definido y en un área determinada. Representa la recurrencia estimada y la ubicación geográfica de eventos probables.

Gestión de riesgos:

Proceso social complejo que conduce al planeamiento y aplicación de políticas, estrategias, instrumentos y medidas orientadas a impedir, reducir, prever y controlar los efectos adversos de fenómenos peligrosos sobre la población, los bienes y servicios y el ambiente. Acciones integradas de reducción de riesgos a través de actividades de prevención, mitigación, preparación para, y atención de emergencias y recuperación post impacto.

Prevención:

Medidas y acciones dispuestas con anticipación con el fin de evitar o impedir que se presente un fenómeno peligroso o para evitar o reducir su incidencia sobre la población, los bienes y servicios y el ambiente.

Reducción de riesgos:

Medidas compensatorias dirigidas a cambiar o disminuir las condiciones de riesgo existentes. Son medidas de prevención-mitigación y preparación que se adoptan con anterioridad de manera alternativa, prescriptiva o restrictiva, con el fin de evitar que se presente un fenómeno peligroso, o para que no generen daños, o para disminuir sus efectos sobre la población, los bienes y servicios y el ambiente.

Riesgo:

Es la probabilidad que se presente un nivel de consecuencias económicas, sociales o ambientales en un sitio particular y durante un período de tiempo definido. Se obtiene de relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

Riesgo aceptable:

Posibles consecuencias sociales, económicas y ambientales que, implícita o explícitamente, una sociedad o un segmento de la misma asume o tolera por considerar innecesario, inoportuno o imposible una intervención para su reducción. Es el nivel de probabilidad de una consecuencia dentro de un período de tiempo, que se considera admisible para determinar las mínimas exigencias o requisitos de seguridad, con fines de protección y planificación ante posibles fenómenos peligrosos.

Vulnerabilidad:

Factor de riesgo interno de un elemento o grupo de elementos expuestos a una amenaza, correspondiente a su predisposición intrínseca a ser afectado, de ser susceptible a sufrir un daño, y de encontrar dificultades en recuperarse posteriormente. Corresponde a la predisposición o susceptibilidad física, económica, política o social que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un fenómeno peligroso de origen natural o causado por el hombre se manifieste. Las diferencias de vulnerabilidad del contexto social y material expuesto ante un fenómeno peligroso determinan el carácter selectivo de la severidad de sus efectos.

2.5.2 SUSCEPTIBILIDAD.

La susceptibilidad generalmente, expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno. La probabilidad de ocurrencia de un factor detonante como una lluvia o un sismo no se considera en un análisis de susceptibilidad.

La susceptibilidad se puede evaluar de dos formas diferentes:

1. Sistema de la experiencia.

Se utiliza la observación directa de la mayor cantidad de deslizamientos ocurridos en el área estudiada y se evalúa la relación entre los deslizamientos y la geomorfología del terreno.

2. Sistema teórico.

Se mapea el mayor número de factores que se considera que puedan afectar la ocurrencia de deslizamientos y luego se analiza la posible contribución de cada uno de los factores.

2.5.3. AMENAZA.

Amenaza natural es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructor, en un área específica dentro de un determinado período de tiempo.

La amenaza a los deslizamientos generalmente, se muestra en planos que indican la distribución espacial de los diversos tipos de amenaza.

La zonificación de amenazas requiere tener en cuenta varios elementos:

1. Un inventario detallado de los deslizamientos y procesos de inestabilidad que han ocurrido en el pasado.
2. Un conocimiento detallado de los procesos y de los factores que los producen.

3. El análisis de la susceptibilidad a la ocurrencia de esos fenómenos, relacionada con las condiciones ambientales existentes.
4. El estudio de las probabilidades reales de que se presenten, las condiciones para la ocurrencia de los fenómenos. (Por ejemplo, de que ocurra una lluvia o un sismo de tal magnitud que pueda activar los posibles deslizamientos de tierra).

La zonificación es el resultado de la aplicación de un modelo en el que se involucren todos los factores que intervienen en el fenómeno.

2.5.4 VULNERABILIDAD.

La vulnerabilidad es el grado de pérdida de un determinado elemento o grupo de elementos en riesgo, como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud determinada.

El análisis de vulnerabilidad requiere de un conocimiento detallado de la densidad de población, infraestructura, actividades económicas y los efectos de un determinado fenómeno sobre estos elementos en riesgo. Este tipo de trabajos es generalmente, realizado por profesionales de disciplinas diferentes a las ciencias de la tierra.

La vulnerabilidad es afectada por la naturaleza del sitio, si está arriba o abajo el deslizamiento, y la naturaleza del elemento en riesgo. La velocidad del movimiento también afecta la vulnerabilidad, a mayores velocidades generalmente, las vulnerabilidades son mayores. Esto puede conducir a diferentes grados de daño en el camino o trayectoria de un deslizamiento. Para estructuras y personas, a mayor profundidad del deslizamiento, generalmente el daño es mayor y la vulnerabilidad mayor.

Para estructuras, la valoración del daño y la vulnerabilidad depende de la modelación de la interacción del deslizamiento de la estructura. Este factor se puede documentar fácilmente para caídos de roca cuando las estructuras han sido diseñadas para resistir los impactos, y en menor extensión para flujos de detritos y movimientos lentos.

Para deslizamientos de gran velocidad no existe una guía para evaluar la vulnerabilidad y es necesario utilizar criterios relativamente subjetivos.

La valoración de la vulnerabilidad puede definirse como el nivel potencial de daño o grado de pérdida de un determinado elemento expresado en una escala de 0 a 1¹⁰:

$$V = V_s \times V_t \times V_l \quad (\text{Ec 2.4})$$

Donde:

V_s : Probabilidad del impacto espacial del deslizamiento sobre el elemento.

V_t : Probabilidad en el tiempo (donde se encuentre el elemento durante el impacto).

V_l : Probabilidad de pérdida de vida o proporción del valor del elemento.

Para valorar la vulnerabilidad debe tenerse en cuenta el tipo, proximidad y distribución espacial de las facilidades afectadas o población, grado de protección ofrecida a las personas por la naturaleza de la facilidad, escala o volumen probable de la falla, grado de prevención o alarma, velocidad del movimiento y su respuesta, así como la posibilidad de efectos secundarios.

2.5.5 RIESGO.

Riesgo es el número esperado de vidas humanas perdidas, personas heridas, daño a la propiedad, y pérdidas económicas relacionadas con la ocurrencia de un determinado fenómeno.

Para la implementación de medidas de prevención y control es conveniente identificar los niveles de riesgo. El análisis de riesgo se fundamenta en la observación y registro de los indicadores tanto naturales como los producidos por acción antrópica, analizados desde el punto de vista de las consecuencias resultantes en el caso de formación o progreso de procesos de deslizamiento. Estas consecuencias deben analizarse no solamente para las

¹⁰ Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Jaime Suarez, pág. 370.

áreas urbanizadas sino teniendo en cuenta la posibilidad de ocupación o urbanización de las áreas aledañas.

Para el análisis de riesgo es importante que sean definidos los tipos y procesos, sus parámetros de formación y progreso y la previsión de las consecuencias resultantes. A partir de este procedimiento es posible caracterizar las situaciones de riesgo incluyendo sus dimensiones.

En este sentido se puede concluir que se trata de varias situaciones de riesgo localizado, afectando solamente a algunos sitios específicos del área ocupada o una situación de riesgo generalizado que afecta a toda el área ocupada. Esta caracterización es fundamental para definir la mejor forma de enfrentar un problema de deslizamientos.

2.5.5.3 CARACTERIZACIÓN Y MANEJO DEL RIESGO.

La caracterización entre otras cosas debe definir la existencia de situaciones de riesgo localizado o generalizado.

En el caso de riesgo localizado se deben identificar los puntos y las áreas de riesgo dentro de una determinada área estudiada. Además, se debe definir si se trata de un riesgo emergencial o de un riesgo permanente o a largo plazo.

En el caso de una situación de emergencia se deben tomar decisiones en forma inmediata para eliminar o reducir determinada situación de riesgo localizado, debido a la inminencia de los procesos de inestabilización, especialmente cuando la emergencia coincide con el periodo lluvioso.

Las soluciones pueden estar destinadas a relocalizar preventivamente a los habitantes o a construir obras inmediatas de emergencia, las cuales dependen de la claridad técnica que se tenga de la amenaza y la posibilidad técnica o material para la construcción de obras adecuadas de control.

En el caso de una situación de riesgo permanente o a largo plazo se deben establecer las medidas definitivas adecuadas para controlar los fenómenos, los cuales pueden estar

directamente ligados a la ocurrencia de lluvias. Esto significa que puede existir un tiempo suficiente para un análisis detallado, diseño de obras, contratación, etc.

Para las situaciones de riesgo generalizado para un grupo grande de población, las decisiones de evacuación o la construcción de obras de control requieren de una ponderación mucho más exigente, los cuales deben ser analizados en forma interdisciplinaria por los diversos profesionales que tienen la responsabilidad de la toma de decisiones. En estos casos las situaciones pueden salirse de la posibilidad física de manejo por parte de los municipios y puede ser conveniente acudir a la Oficina Nacional para la Prevención de Desastres o al Gobierno Nacional.

El manejo del riesgo puede significar el vivir con el riesgo en ese caso el riesgo debe manejarse y evaluarse para permitir su manejo. Lo cual equivale, a que el mapeo es una de las herramientas más importantes. Las soluciones a los casos de riesgo, no tienen una receta única y las soluciones ideales generalmente, no existen.

La inestabilidad de taludes y laderas es un problema de alta complejidad y todavía muy poco entendido y es difícil definir una dirección correcta de manejo. El mapeo de zonas de riesgo todavía es una evaluación tipo ejercicio y aunque es indispensable en muchos casos, no provee información suficiente para el diseño de las soluciones.

2.5.6. MÉTODOS PARA DISMINUIR O ELIMINAR EL RIESGO.

Una vez estudiado el talud, definidos los niveles de amenaza y riesgo, el mecanismo de falla y analizados los factores de equilibrio, se puede pasar al objetivo final que es el diseño del sistema de prevención control o estabilización.

Existen varias formas de enfocar y resolver cada problema específico y la metodología que se requiere emplear depende de una serie de factores técnicos, sociales, económicos, políticos; con una gran cantidad de variables en el espacio y en el tiempo.

A continuación se presentan algunas de las metodologías que se han utilizado para disminuir o eliminar el riesgo a los deslizamientos de tierra:

2.5.6.1. PREVENCIÓN.

La prevención incluye el manejo de la vulnerabilidad, evitando la posibilidad de que se presenten riesgos o amenazas. La prevención debe ser un programa del Estado, en todos sus niveles mediante una legislación y un sistema de manejo de amenazas que permita disminuir los riesgos a deslizamiento en un área determinada.

Los riesgos debidos a deslizamientos de tierra se pueden reducir utilizando cuatro estrategias así:

- Restricciones al desarrollo en áreas susceptibles a deslizamientos.
- Códigos para excavaciones, explanaciones, paisajismo y construcción.
- Medidas físicas tales como drenaje, modificación de la geometría y estructuras para prevenir o controlar los deslizamientos o los fenómenos que los pueden producir.
- Desarrollo de sistemas de aviso o alarma.
- Los métodos de mitigación o prevención de amenaza pueden reducir en forma importante la ocurrencia de deslizamientos.

La prevención permite el manejo de áreas relativamente grandes, teniendo en cuenta que los procesos naturales pueden ocurrir en diversos sectores dentro de un área de susceptibilidad similar, en forma repetitiva o múltiple. La mejor estrategia para la reducción de amenaza de deslizamiento, generalmente, envuelve una mezcla de varias técnicas o sistemas en donde se requiere la cooperación de geólogos, ingenieros, planeadores, propietarios de la tierra, constructores, organizaciones financieras y de seguros y entidades del Estado.

Para el diseño de un programa adecuado de prevención se deben tener en cuenta los siguientes elementos:

- Una base técnica completa de las amenazas y riesgos.
- Un grupo técnico capaz de interpretar y manejar la información existente.
- Entidades del Estado conocedoras y conscientes de los problemas.

- Una comunidad que comprenda el valor y los beneficios de estos programas.

Se necesitan entonces dos elementos principales: Una base técnica completa y confiable sobre las amenazas y riesgos y un Estado y comunidad consientes de los problemas y del beneficio de los programas de prevención.

2.5.7 MÉTODOS DE ELUSIÓN DE LA AMENAZA.

Eludir la amenaza consiste en evitar que los elementos en riesgo sean expuestos a la amenaza de deslizamiento.

Previamente a la aplicación de un método de elusión debe estudiarse la posibilidad de aplicación de sistemas de estabilización en los aspectos técnicos y económicos. No es una buena práctica de ingeniería el tratar de eludir los problemas antes de intentar resolverlos.

La presencia de deslizamientos de gran magnitud difíciles de estabilizar es un argumento de gran peso para sustentar un proceso de elusión. Debe tenerse en cuenta que en ocasiones estos deslizamientos son movimientos antiguos, los cuales han sido disfrazados por procesos nuevos de meteorización, erosión o por vegetación o actividades humanas. La no-detección de estos grandes deslizamientos en la fase de planeación puede acarrear costos muy altos en el momento de la construcción.

En el caso de talud o coluviones producto de antiguos movimientos, cualquier corte o cambio de las condiciones de precaria estabilidad pueden generar nuevos movimientos.

Al reconocer y cuantificar un deslizamiento puede resultar más ventajoso para el proyecto, el modificarlo para evitar la zona problema. Para aplicar este método correctamente se requiere un conocimiento geológico y geotécnico muy completo de la zona, que permita concluir que no es técnica o económicamente viable la utilización de un sistema de estabilización y que es recomendable la elusión del problema, modificando el proyecto, construyendo una variante vial, etc.

MÉTODO	APLICACIONES	LIMITACIONES
Variantes o relocalización del proyecto	Se recomienda cuando existe el riesgo de activar grandes deslizamientos difíciles de estabilizar o existen deslizamientos antiguos de gran magnitud. Puede ser el mejor de los métodos si es económico hacerlo.	Puede resultar costoso y el nuevo sitio o alineamiento puede estar amenazado por deslizamientos.
Remoción total de deslizamientos	Es atractivo cuando se trata de volúmenes pequeños de excavación.	La remoción de los deslizamientos puede producir nuevos movimientos.
Remoción parcial de materiales inestables	Se acostumbra el remover los suelos subsuperficiales inestables cuando sus espesores no son muy grandes.	Cuando el nivel freático se encuentra subsuperficial se dificulta el proceso de excavación.
Modificación del nivel del proyecto o subrasante de una vía.	La disminución de la altura de los cortes en un alineamiento de gran longitud puede resolver la viabilidad técnica de un proyecto.	Generalmente, al disminuir la altura de los cortes se desmejoran las características del proyecto.
Puentes o viaductos sobre los movimientos	Muy útil en terrenos de pendientes muy altas	Se requiere cimentar los puentes sobre suelo estable y las pilas deben ser capaces de resistir las fuerzas laterales del material inestable.

Tabla 2.5 Métodos de elusión de amenaza de deslizamiento¹¹.

Cuando no es posible la construcción de una variante se puede considerar el remover total a parcialmente los materiales de los deslizamientos antiguos o con riesgo de activación. La remoción de materiales inestables va desde el descapote o remoción de los primeros metros de suelo hasta la eliminación de todo el material inestable.

Generalmente, hay limitaciones prácticas al empleo de este método por los volúmenes de tierra que se requiere manejar y la falta de espacio para colocar esta tierra, teniendo en cuenta sus efectos ambientales.

En terraplenes a media ladera se acostumbra remover la totalidad de la capa subsuperficial de materiales inestables previamente a la colocación del terraplén.

En taludes en roca es muy común la remoción de los bloques inestables de material.

Esto puede incluir la remoción de la roca acumulada sobre las gradas, la conformación de la superficie y la remoción de salientes, utilizando explosivos.

¹¹ Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Jaime Suarez, pág. 386.

La remoción de roca puede ser muy peligrosa para los operarios que hacen el trabajo, así como para personas en áreas cercanas, vehículos, etc.

Generalmente, se requiere suspender el tráfico en las vías para remover los bloques de roca y construir estructuras de protección para las obras existentes en áreas cercanas.

2.6 INTRODUCCIÓN A LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA.

2.6.1 RESISTIVIDAD DE LOS MATERIALES.

Todas las sustancias se oponen en mayor o menor grado al paso de la corriente eléctrica, esta oposición es a la que llamamos resistencia eléctrica. Los materiales buenos conductores de la electricidad tienen una resistencia eléctrica muy baja, los aislantes tienen una resistencia muy alta.

Se le llama resistividad al grado de dificultad que encuentran los electrones en sus desplazamientos. Se designa por la letra griega rho minúscula (ρ) y se mide en ohm por metro ($\Omega \cdot m$).

Por definición¹²:

$$\rho = \frac{E}{J} = R \frac{A}{l} \quad (2.5)$$

En donde:

ρ : es la resistividad ($V \cdot m/A$ o $\Omega \cdot m$).

E: es la magnitud del Campo Eléctrico (V/m).

J: es la magnitud de la densidad de corriente (A/m^2).

R: es la resistencia eléctrica de una muestra homogénea de material (Ω).

l: es la longitud de la porción de material (m) .

A: es el área de la sección transversal de la muestra (m^2).

¹² www.u-cursos.cl/ingenieria/2010/1/EL3003/2/material_alumnos/bajar?id_material=55268

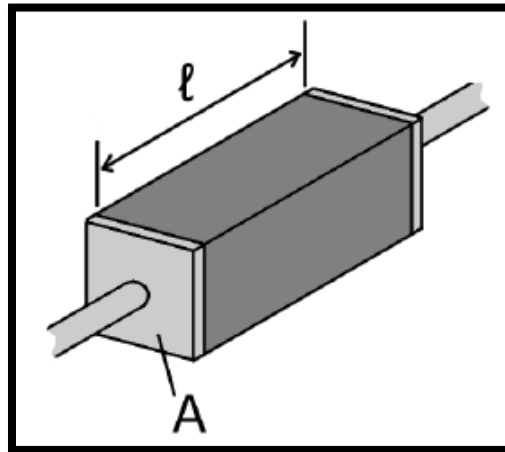


Figura 2.26 Muestra de un material resistivo de longitud (l) y sección transversal (A).

El valor de la resistividad describe el comportamiento de un material frente al paso de corriente eléctrica, por lo que da una idea de lo buen o mal conductor que es. Un valor alto de resistividad indica que el material es mal conductor mientras que uno bajo indica que es un buen conductor.

Generalmente la resistividad de los metales aumenta con la temperatura, mientras que la resistividad de los semiconductores disminuye ante el aumento de la temperatura.

En la práctica, el valor de resistividad obtenido de una medición de terreno es una mezcla de las resistividades de diversos materiales. A este valor se le denomina resistencia aparente ($\rho.a.$).

La resistividad real coincidiría con la resistividad aparente solo en el caso cuando el terreno es homogéneo.

2.6.2 CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE ACUERDO A SU RESISTIVIDAD.

Los dos principales constituyentes de suelos son el óxido de silicio y el óxido de aluminio los cuales son excelentes aislantes eléctricos; no obstante, normalmente es posible detectar una conducción eléctrica apreciable en el terreno. Esto se debe a que:

- a) La conductividad del suelo se debe en gran medida a la presencia de humedad y sales en solución en los intersticios dejados por las formaciones rocosas o masas minerales.
- b) La cantidad de corriente transportada puede alcanzar valores importantes aun en un mal conductor, si el volumen que participa es considerable.

De la primera observación se deduce que el proceso de conducción en suelos es de carácter electroquímico y depende de factores como:

- Porosidad de materiales componentes del terreno
- Distribución y disposición de los poros
- Conductividad del agua que llena los poros.

La conductividad del agua se compone de una conductividad primaria (la propia del agua) y una conductividad secundaria (la adquirida por disolución del material y sales) que depende del estancamiento.

Así, considerando el tipo de agua que llena los poros del material que compone el terreno y la resistividad del agua, es posible una clasificación estimativa de los terrenos de acuerdo a su resistividad como se muestra en la siguiente tabla¹³:

¹³ www.u-cursos.cl/ingenieria/2010/1/EL3003/2/material_alumnos/bajar?id_material=55268

Tipo de Terreno	Resistividad ρ (Ω .m.)
Terrenos vegetales húmedos	10 – 50
Arcillas, gredas, limos	20 – 60
Arenas arcillosas	80 – 120
Fangos, Turbas	150 – 300
Arenas	250 – 500
Suelos pedregosos	300 – 400
Rocas	1.000 -10.0000
Concreto húmedo	100 – 240
Concreto seco	10.000 – 50.000

Tabla 2.6. Resistividades de distintos tipos de terreno.

Estos valores estimativos pueden usarse con buen criterio, solo en caso de imposibilidad de conocer la resistividad real mediante mediciones en el terreno.

En cuanto a la segunda observación, respecto de corriente transportada y volumen de terreno implicado, habría que destacar dos aspectos:

Toda corriente que fluye a través de un medio de alta resistividad, genera una diferencia de potencial importante en el medio. De lo que se desprende que la circulación de corriente por el terreno puede desarrollar un gradiente de potencial (y por ende un campo eléctrico) elevado y afectar extensas regiones, en particular sobre la superficie del suelo.

Un análisis riguroso de la distribución de corrientes en el terreno es muy difícil cuando este no es homogéneo, lo cual se da en la gran mayoría de los casos. Este corresponde precisamente al segundo aspecto: la resistividad del terreno varía tanto en sentido horizontal como vertical.

En general la variación de resistividad en la dirección horizontal es reducida comparada con las dimensiones normales de una puesta a tierra y puede por lo tanto ser despreciada.

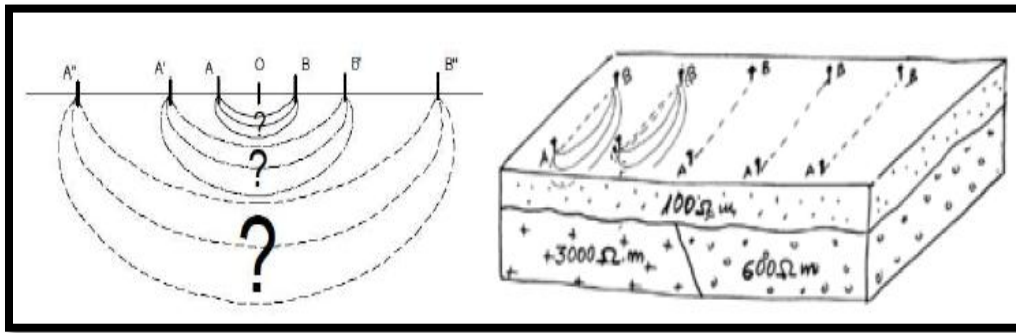


Figura 2.27 Variación del campo eléctrico producido por los electrodos AB.

(a) Variación Vertical, (b) Variación Horizontal.

Por ende, en la práctica, un terreno puede ser razonablemente representado por un modelo de estratos paralelos a la superficie del suelo, caracterizado cada uno de ellos por su espesor y un valor constante de resistividad, tal como lo muestra la Figura 2.28. El estrato homogéneo más profundo se considera de espesor infinito (no se conoce el espesor de la última capa).

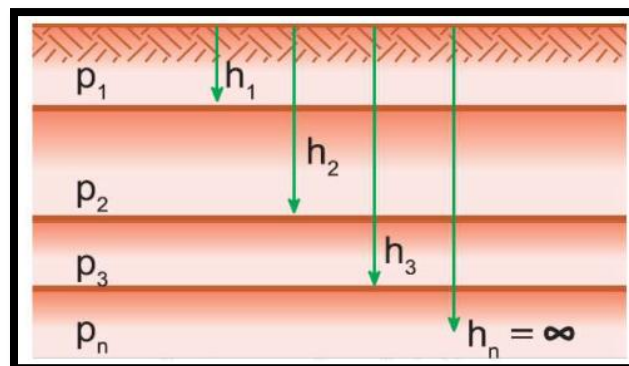


Figura 2.28 Representación de un terreno estratificado.

2.6.2.1 VARIABLES QUE AFECTAN LA RESISTIVIDAD DE UN TERRENO.

Para un tipo de terreno determinado, su resistividad puede verse significativamente afectada por varios factores:

a) **Humedad.**

La humedad que posee el terreno determina fuertemente su resistividad. El agua que contiene el terreno, debido a su estado higrométrico, es la que influye.

Siempre que se añada agua a un terreno disminuye la resistividad respecto a la que tendría en seco. Se dice que un terreno está “saturado” cuando todos sus intersticios están llenos de agua.

Por efectos de la evaporación natural de la superficie del terreno, se produce un empobrecimiento del agua contenida en los agregados, fenómeno que se propaga lentamente desde la superficie hacia los estratos más profundos. Este fenómeno tiene más importancia cuanto más seco sea el clima del lugar y cuanto más superficial es la ubicación de la puesta a tierra.

b) Temperatura.

La temperatura del terreno también es un factor importante a considerar dentro del estudio de los factores que determinan la resistividad de los suelos. La tierra seca es un aislador excelente; al aire y al sol, las capas de arena seca de la superficie se acercan mucho a la condición de buen aislador.

En general, el grosor de tales capas secas no es muy grande, alcanzan solo entre 10 y 20 centímetros.

c) Compactación del suelo.

Una mayor compactación del suelo disminuye la distancia entre las partículas y se logra una mejor conducción a través de la humedad contenida. A medida que se aumenta el contenido de humedad, se alcanza una especie de saturación ya que el agua envuelve la mayoría de las partículas y un mayor acercamiento entre estas no influye en la conducción.

d) Concentración de sales disueltas.

La concentración de sales disueltas en el terreno es un factor determinante en la resistividad del mismo. Al existir una mayor concentración de sal en el suelo, este mejora su conductividad. En forma general, entonces, se podría establecer que mejor conductor es el terreno mientras mayor contenido de sal haya en el.

CAPITULO 3

METODOLOGIA

PARA LA

RECOLECCION DE

DATOS

3.1 ORGANIZACIÓN DEL ESTUDIO.

Para encontrar las causas y mecanismos de falla y poder cuantificar los parámetros que determinan la estabilidad de un talud, diagnosticar y diseñar las obras de estabilización se recomienda realizar un estudio que incluye las siguientes etapas:

1. Reconocimiento e identificación del sitio.
2. Análisis de la información existente.
3. Estudio de las características superficiales del sitio que permitan la caracterización topográfica y geotécnica.
4. Investigación de campo que incluye sondeos, toma de muestras, y ensayos in situ para cuantificar los parámetros del suelo.
5. Investigación de Laboratorio.
6. Análisis de la información obtenida, modelación matemática y diseño.

La sociedad de deslizamientos del Japón (1996) propuso un diagrama de flujo el cual se presenta en la Figura 3.1.¹

¹ Deslizamientos – Análisis Geotécnico. Jaime Suarez. Pág. 441.

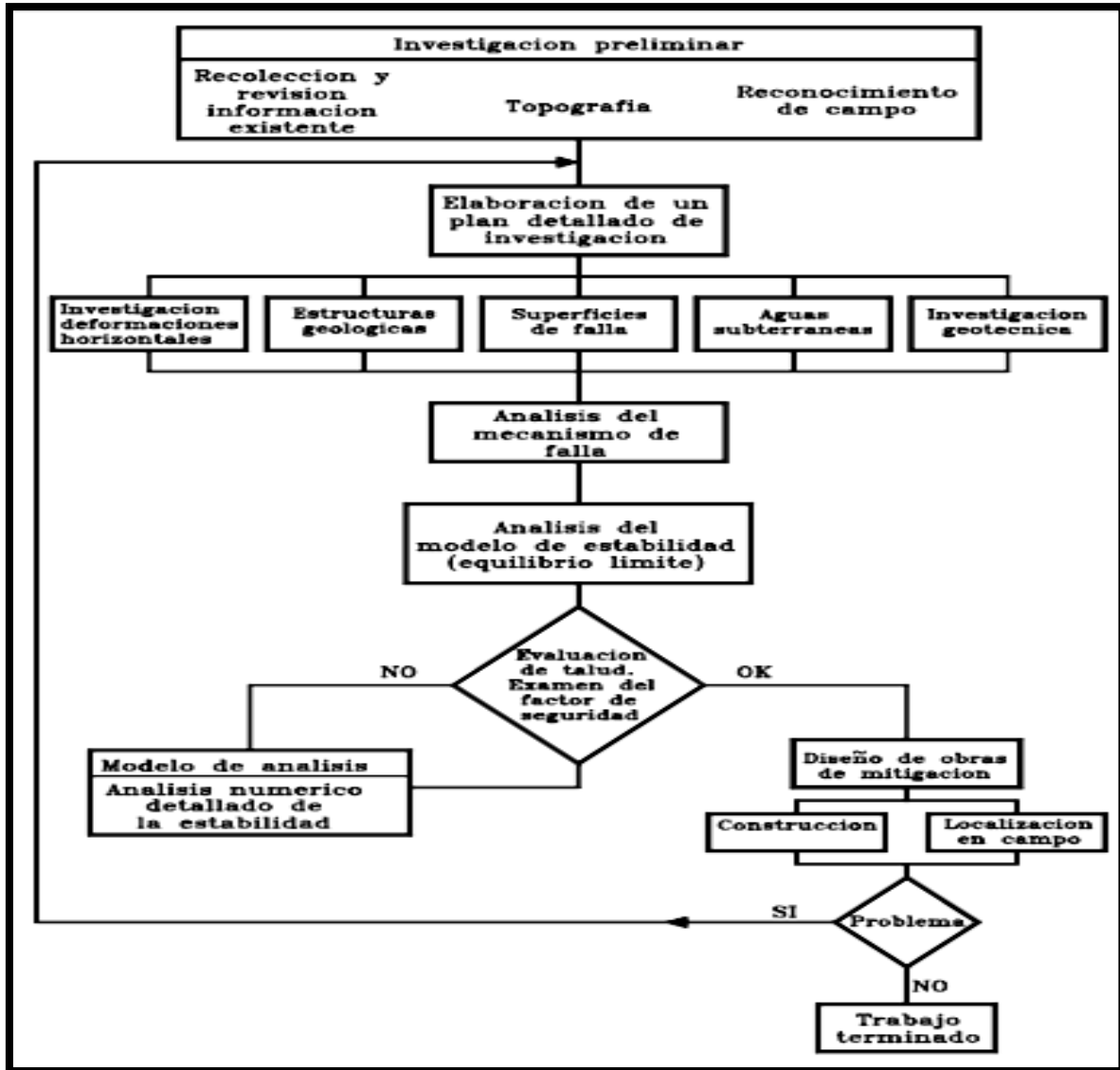


Figura 3.1 Diagrama de flujo para la investigación y análisis de deslizamientos. (Japan Landslide Society, 1996).

Para realizar eficientemente estos trabajos se requiere el concurso de un grupo interdisciplinario integrado por Ingenieros, Geólogos, Hidrólogos, Forestales, Topógrafos, Laboratoristas o Geotecnólogos y otros especialistas; quienes deben conformar un equipo de trabajo, en el cual es muy importante efectuar los análisis con una mente muy amplia, sin caer en dogmatismos o en conclusiones simplistas.

El trabajo de campo es el más costoso y el que mejor información puede proveer para un análisis detallado conjuntamente con el del laboratorio. En contraste, el análisis de la información y modelación es más económico. El anterior problema ha conducido con

mucha frecuencia a que se realicen evaluaciones numéricas muy precisas, utilizando información de muy baja calidad o inexistente. En el caso de problemas de taludes, el planteamiento de una teoría sin comprobación puede conducir a errores de análisis que conducen necesariamente, a la escogencia de soluciones equivocadas y en ocasiones a provocar deslizamientos mayores que el que se pretende estabilizar.

El análisis y la evaluación del deslizamiento generalmente, requieren de experiencia del profesional encargado, sin embargo, la experiencia puede ser mala consejera porque lo que ocurrió en un sitio no es necesariamente lo que está ocurriendo en un sitio distinto, así los factores exteriores lo indiquen. En estabilidad de taludes son muchos los errores que se han cometido por falta de profundización en los estudios y por creer que la primera teoría planteada es la verdadera.

3.1.1 CAUSAS COMUNES DE FRACASOS EN LA INVESTIGACIÓN.

Después de obtenida la información se debe proceder a su análisis para la toma de decisiones, y es esta la etapa más importante del programa de investigación y en ocasiones se toman decisiones equivocadas por la falta de un análisis racional y completo de la información. Osterberg (1979) sugiere que hay cinco razones generales para los fracasos en las investigaciones de procesos de deslizamiento:

- a. El conocimiento general de los procesos geológicos no se utilizó en la planificación del programa de exploración y en la evaluación de la información recolectada.
- b. El investigador tenía una noción preconcebida de lo que debería ser la evaluación del sitio y no permitió considerar evidencias que contradecían la idea preconcebida.
- c. No se utilizaron todas las herramientas disponibles para la investigación del sitio, aún en el caso de que eran simples y obvias.
- d. El investigador no discutió apropiadamente los objetivos del programa de investigación con todas las personas involucradas.
- e. No se establecieron líneas abiertas y libres de comunicación.

3.2 ESTUDIO TOPOGRAFICO.

3.2.1 METODOLOGIA PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.

El objetivo de esta etapa es dar a conocer una propuesta metodológica que ayude a la recolección de datos para realizar un estudio topográfico en un movimiento de laderas.

Esta se ha dividido en los siguientes pasos:

3.2.1.1 RECOPIACION DE INFORMACIÓN.

Se debe recolectar la mayor cantidad de información disponible del lugar, antes de realizar las visitas de inspección. Esta información puede consistir en:

- > Mapas Temáticos (Uso del suelo, geológicos, pendientes, etc.)
- > Cuadrantes en escalas variadas como por ejemplo en 1:50000 y 1:25000
- > Informes del lugar (Noticias, documentos elaborados por otras instituciones como SNET, CNR, etc.)

Con toda esta información se puede conocer de forma preliminar la situación topográfica y otros aspectos que se deben de contrastar con las visitas al lugar.

3.2.1.2 VISITA PRELIMINAR.

Sea como sea la morfología del sitio, como primer paso es reconocer el lugar en estudio, para lo cual se debe planificar visitas, al determinado sitio en estudio.

Este paso es importantísimo por los siguientes aspectos:

- 1- Da una idea preliminar de cómo se hará el levantamiento topográfico.
- 2- Se puede definir desde donde se comenzará con el levantamiento topográfico.

- 3- Al examinar la morfología del sitio se pueden elegir puntos estratégicos de donde realizar los estacionamientos para ubicar la mayoría de puntos importantes a levantar.
- 4- Hay detalles del terreno que se pueden empezar a discriminar y no tomarlos en cuenta.
- 5- Ubicar mojones geodésicos que puedan existir en el lugar o en las cercanías.
- 6- Obtener coordenadas con GPS de mojones geodésicos y contrastar con las que se encuentran en el mojón y de esta manera calcular el error del GPS.

Los instrumentos para obtener dichos datos son los siguientes:

- a- Libretas, lápiz y lapicero.
- b- Cámara Fotográfica.
- c- Mapas o Cuadrantes.
- d- GPS.

Es claro que para realizar una visita preliminar y poder recabar toda la información necesaria se deberá recorrer toda la ladera afectada, examinando detalladamente todos los accidentes geográficos del terreno, la infraestructura, el tendido eléctrico, etc. y además haber realizado un pequeño estudio del arte para reconocer ciertos parámetros que son necesarios levantar.

3.2.1.3 DETALLES A TOMAR EN CUENTA.

En esta etapa se elaborará una lista de detalles y parámetros que son necesarios levantar en un movimiento de laderas.



DETALLES A TOMAR EN CUENTA EN UN MOVIMIENTO DE LADERAS	
DATOS	INFORMACION
<p><u>Arboles</u></p> 	<p>Los árboles no son tan necesarios de levantar si ya existe movimiento en la ladera, pero si son importantes cuando no lo hay, ya que estos brindan una resistencia adicional con el entramado que hacen sus raíces dentro del suelo.</p>
<p><u>Bancos de Marca Fijo</u></p> 	<p>Es importante ubicarlos en el lugar, debido a que sirven como puntos de referencia, para monitorear el movimiento de laderas en el futuro.</p>

Tabla 3.1 Detalles a tomar en cuenta en un movimiento de laderas.

DETALLES A TOMAR EN CUENTA EN UN MOVIMIENTO DE LADERAS	
DATOS	INFORMACION
<p><u>Calles</u></p> 	<p>Se deberán incluir en los mapas topográficos que se realicen con el objeto de identificar las rutas por donde se transportan las personas y también pueden servir para planificar rutas de escapes en movimientos de ladera que tienen velocidades rápidas. Es importante clasificarlas si son primarias, secundarias, terciarias, etc. Como también hacia donde se dirigen.</p>
<p><u>Escarpes laterales</u></p> 	<p>Son conocidos también como flancos laterales, no son más que los límites del movimiento, se reconocen como grietas donde el desplazamiento vertical es generalmente más grande al de las otras grietas, estos reciben la palabra izquierdo o derecho observándolos desde la corona hasta el pie. Es importante levantarlos debido a que con estos se puede delimitar el área total afectada y además ver la forma en planta del sitio.</p>
<p><u>Escarpe Principal</u></p> 	<p>Este es igual a los laterales, la única diferencia es la ubicación ya que generalmente se encuentra ubicado paralelo a la zona de la corona y es un parámetro importante del movimiento de laderas que sirve para delimitar el área.</p>

Tabla 3.2 Detalles a tomar en cuenta en un movimiento de laderas.

DETALLES A TOMAR EN CUENTA EN UN MOVIMIENTO DE LADERAS	
DATOS	INFORMACION
<p><u>Grietas</u></p> 	<p>En un plano topográfico que contenga un movimiento de ladera es de suma importancia ubicar dentro de este las grietas que se encuentran en la zona, ya que estas ayudan a caracterizar mejor el movimiento, la dirección y el largo de las grietas ayuda a conocer el tipo de movimiento que se desarrolla y hacia donde se desplaza la masa inestable.</p>
<p><u>Infraestructura</u></p> 	<p>Para una mejor descripción en el plano topográfico es conveniente, ubicar dentro de él, toda la infraestructura como por ejemplo: casas particulares, iglesias, casas comunales, escuelas, tiendas, hospitales, clínicas, etc.</p>
<p><u>Lagos o Lagunas</u></p> 	<p>La presencia y localización de este tipo de cuerpos de agua en el movimiento de laderas indica muchas cosas, una de ellas es el tipo de suelo especial para la retención de agua y la infiltración que se pueda estar dando hacia adentro de la ladera y por ende afectar la estabilidad o acelerar el movimiento.</p>

Tabla 3.3 Detalles a tomar en cuenta en un movimiento de laderas.

DETALLES A TOMAR EN CUENTA EN UN MOVIMIENTO DE LADERAS	
DATOS	INFORMACION
<p><u>Nacimientos de Agua</u></p> 	<p>Estos indican que el nivel freático no es tan profundo y se verifican si sale agua o no, y la época, si es verano o invierno, su localización es importante dentro de la ladera afectada ya que pueden estar contribuyendo a la inestabilidad o a la velocidad del movimiento de ladera.</p>
<p><u>Postes</u></p> 	<p>Pueden ser de tendido eléctrico, telefónico, etc. Lo importante es crear la mayor cantidad de detalles en el plano topográfico para realizar una caracterización de lo mejor posible.</p>
<p><u>Puentes</u></p> 	<p>Es importante incluir estos detalles para la cuantificación de daños que pueda causar el movimiento así como también para llevar ayuda en casos de desastres. Y rutas de acceso para llevar equipo de laboratorio.</p>

Tabla 3.4 Detalles a tomar en cuenta en un movimiento de laderas.

DETALLES A TOMAR EN CUENTA EN UN MOVIMIENTO DE LADERAS	
DATOS	INFORMACION
<p><u>Ríos</u></p> 	<p>Influyen bastante en la inestabilidad de laderas, así como también son referentes en los estudios hidrológicos para dibujar cuencas y micro-cuencas ya que son drenajes naturales. En movimientos rápidos sirven como canales de desplazamiento del material.</p>
<p><u>Uso de suelos</u></p> 	<p>Es importante delimitar las zonas de cultivos, si es que existen dentro de la zona de movimiento, ya que este es un factor antrópico y puede ser una variable que afecte la resistencia de los materiales y por ende ayude a generar un movimiento de laderas.</p>
<p><u>Zona de corona</u></p> 	<p>Para una mejor caracterización es importante levantar topográficamente la zona de la corona, que es la parte más alta de la ladera generalmente es plana, y es un elemento que se tiene que levantar con el objetivo de generar perfiles bien dibujados y también poder determinar pendientes.</p>

Tabla 3.5 Detalles a tomar en cuenta en un movimiento de laderas.

3.2.1.4 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.

Los levantamientos topográficos tienen los siguientes objetivos:

- ⇒ Establecer controles en tierra para el mapeo fotogramétrico y la instrumentación.
- ⇒ Obtener detalles topográficos, especialmente de aquellos factores ocultos por la vegetación.
- ⇒ Determinar los perfiles topográficos para los análisis de estabilidad.
- ⇒ Establecer un marco de referencia sobre el cual puedan compararse los movimientos futuros del terreno.

DETALLES, PARAMETROS Y METODOS		
DETALLE	PARAMETROS	METODO
Arboles	Diámetro, Altura y Ubicación.	<p>El diámetro: se puede medir, de forma directa con cinta métrica o de forma indirecta midiendo el perímetro con la cinta métrica y utilizando la formula $\text{Perímetro}=2\pi r$, donde r es el radio.</p> <p>Altura: puede medirse indirectamente utilizando el aparato de estación total de la siguiente forma, medir la distancia horizontal que existe entre el aparato y un punto ubicado a la par del árbol y luego se mide el ángulo vertical entre ese punto y la punta del árbol de tal manera que se forme un triángulo rectángulo y se pueda obtener la altura.</p> <p>Si existe un área considerable de árboles se pueden ubicar puntos en las esquinas y delimitar para formar una área, y se puede tomar una altura promedio y diámetro promedio. Es de importancia también la clase de árbol.</p>

DETALLES, PARAMETROS Y METODOS		
DETALLE	PARAMETROS	METODO
Bancos de Marca Fijos	Coordenadas geográficas.	Estos se deben ubicar afuera del área afectada por el movimiento de laderas, Jaime Suarez Díaz (2006), propone una distancia del 25% del ancho de la zona deslizada, y además se deberán buscar afloramientos de roca para ubicarlos, o hacerlos de concreto, las coordenadas se obtendrán con GPS, y georeferenciarse con las coordenadas oficiales, para una mejor ubicación se deben de ubicar banderas u otro tipo de señal para evidenciar la presencia de estos.
Calles	Ancho, curvas, material de que esta hecho, pendientes.	Generalmente las calles se levantan de la siguiente forma: Se ubican tres puntos aproximadamente en línea (centro y dos laterales), en tramos que son rectos estos puntos se pueden repetir a cada 25 metros, en tramos curvos a cada 5 o 10 metros dependiendo el radio de la curva, si es un radio pequeño (curva cerrada) los tramos deben ser de 5 metros o menos, si los radios son grandes (curvas abiertas) estos pueden ser mayores de 5 metros. Es importante ubicar puntos en el inicio y final de curvas verticales y horizontales.
Escarpe Lateral	Altura y longitud.	Para empezar a levantar estos detalles, se debió haberlos identificado completamente en la visita preliminar, seguidamente se ubican puntos en línea, uno en la parte de abajo y otro en la parte de arriba, con el fin de medir su altura, estos puntos se deberán ubicar en cada cambio de dirección y cambios de altura que presente el escarpe.

Tabla 3.6 y tabla 3.7 Detalles, parámetros y métodos.

DETALLES, PARAMETROS Y METODOS		
DETALLE	PARAMETROS	METODO
Escarpe Principal	Altura y longitud.	Este se levanta de igual manera, que los escarpes laterales. Para levantar los escarpes se puede realizar de forma continua y ubicar un punto frontera donde se divida los escarpes, para que en el dibujo se identifique los diferentes escarpes. Cerca de los escarpes laterales y principal se forman pequeños escarpes, los cuales también se consiguen levantar de la misma forma que los demás escarpes.
Grietas	Longitud, ancho, cambios de dirección, altura (si se puede).	Solamente se levantan las grietas principales, las que son más grandes y anchas, se ubican puntos en el centro de estas, el ancho se puede medir con cinta métrica, y se ubican puntos en los cambios de dirección, si tienen una sola dirección se pueden tomar puntos al inicio, centro y final. La altura se puede medir con la cinta métrica directamente.
Infra-estructura	Dimensiones, áreas.	Tomar puntos en las esquinas de la infraestructura y además se puede observar el material de que está fabricada y su uso (casas particulares, escuelas, iglesias, etc.). También se puede verificar si presenta daños.
Lagos o lagunas	Perímetro, estado (con agua o sin agua).	Los puntos se ubican en el perímetro, se pueden ubicar tres o más, para que en el dibujo se figure correctamente. Se verifica si se encuentra seca o no, si está seca se pueden tomar puntos en la parte inferior de esta.
Nacimientos de agua	Perímetro, estado (con agua o sin agua).	Igual que en el parámetro anterior, se toman puntos tres o más puntos en el perímetro y se verifica su estado si está seco o con agua.

Tabla 3.8 Detalles, parámetros y métodos.

DETALLES, PARAMETROS Y METODOS		
DETALLE	PARAMETROS	METODO
Postes	Ubicación y diámetro (opcional).	Simplemente se ubican y si se requiere se puede medir el perímetro y con este obtener su radio ($P=2\pi r$), también se debe observar si existe pandeo, es decir si está inclinado y no recto como debería de ser.
Puentes	Ubicación, longitud y ancho.	Ubicar puntos al inicio del puente, pueden ser tres (centro y dos laterales) y al final también se ubican puntos, si es necesario ubicar en el centro. Con esto se define la longitud y el ancho. Verificar si se encuentra dañado.
Ríos	Ubicación, longitud, ancho, estado (seco o con agua).	Para levantar topográficamente este parámetro, se utiliza el mismo método utilizado para la calle, con la salvedad que el punto del centro pueda que no se obtenga, en caso que el río sea muy profundo. Debe verificarse si existen taludes, si los hubiera hay que tomar puntos en la parte superior de estos para definir las curvas de nivel en el dibujo de la mejor manera. Si el río atraviesa toda la ladera, se deberá levantar más allá de los límites, tratando de abarcar la mayor longitud posible.
Uso de suelos	Ubicación, dimensiones y uso de suelo (cultivos, ganado, leña, etc.)	Se ubican puntos en las esquina y se delimita zona en estudio, por último se verifica el uso del suelo, si lo ocupan para cultivar, pastorear ganado, cultivar árboles para leña, etc.
Zona de corona	Ubicación y otros detalles.	Se deberá tomar puntos en los detalles que pueda contener esta zona, si es plana, ubicar puntos al azar para figurar correctamente el dibujo, a veces, existen grietas en esta zona, estas son conocidas como “grietas de tensión”, y en fin cualquier detalle importante, lo más conveniente es levantarlo topográficamente.

Tabla 3.9 Detalles, parámetros y métodos.

El método para realizar el levantamiento topográfico, depende en gran medida de:

- La morfología del lugar
- El tipo de aparato que se utilice (Estación total, teodolito, GPS, cinta métrica, etc.)
- Si el área está limpia o no.

Por lo tanto, queda a elección de las personas que van a realizar el levantamiento topográfico, en decidir que método utilizar (Radiación, Polígonos, etc.).

3.2.1.5 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Seguidamente del levantamiento topográfico, se procede a darle interpretación y a trabajar los datos preliminares que se han obtenido; para lo cual se puede seguir el siguiente proceso (ver figura 3.2):

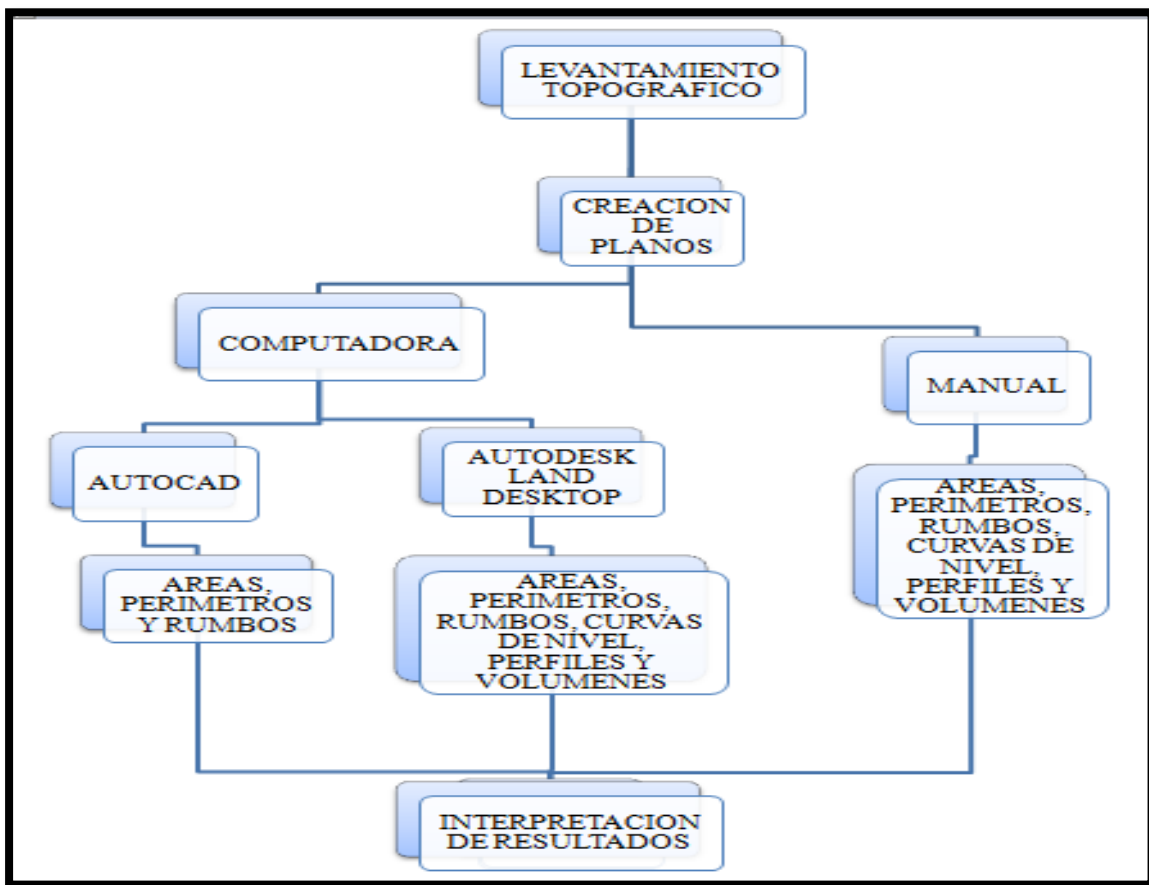


Figura 3.2 Diagrama de pasos y métodos que se pueden seguir para el análisis e interpretación de resultados.

Al interpretar el diagrama, podemos concluir que existen diferentes formas para interpretar los datos generados por el levantamiento topográfico, de modo que se pueden analizar de forma manual y con computadora, y se pueden obtener los mismos resultados, obviamente que si se hace de forma manual se consume más tiempo que haciéndolo con ordenador.

3.3 ESTUDIO GEOTECNICO.

En la identificación de movimientos de laderas un estudio geotécnico tiene por objeto obtener todos los parámetros para modelar los procesos de inestabilidad y diseñar las obras de mitigación y remediación.²

Es importante definir “el suelo” antes de comenzar a analizarlo y practicar ensayos en él; así, de una manera general el término suelo lo definimos como: “El conjunto de partículas producidas por la desintegración mecánica o química de las rocas, no cementadas que pueden contener o no materia orgánica”.

Todos los suelos pueden agruparse en cinco tipos base: grava, arena, limo, arcilla y materia orgánica; aunque raramente existen por separado como tipos base, sino que se encuentran combinadas.

En un estudio geotécnico, así como en un topográfico se requieren diferentes pasos con un cierto orden lógico y secuencial para que los datos obtenidos sean aplicables a solución de problemas en la evaluación de movimientos de laderas:

- Reconocimiento de áreas inestables y deslizamientos.
- Sondeos.
- Muestreo.
- Ensayos.
- Presentación de resultados.

²Deslizamientos: análisis geotécnico. Jaime Suarez

3.3.1 RECONOCIMIENTO DE ÁREAS INESTABLES Y DESLIZAMIENTOS.

En el análisis de movimientos de laderas es importante hacer un reconocimiento del sitio para determinar las áreas inestables y poder predecir la ocurrencia de deslizamientos, en el caso que no exista movimiento, y medir el área cubierta por el deslizamiento en caso contrario.

Algunas guías útiles en este proceso son los siguientes:

- **Escarpes y afloramientos de roca.** Los escarpes se reconocen por su pendiente y por la falta de vegetación.

Los afloramientos de roca tienen una apariencia de topografía rugosa. Debe tenerse en cuenta que en ocasiones la vegetación es muy alta y no permite ver los bloques de roca.

- **Taludes cubiertos con bloques de roca o suelo suelto.** Las zonas de bloques de roca se reconocen como manchas moteadas de colores claro o gris.
- **Coluviones.** Los coluviones se identifican por la textura más suave que el terreno montañoso alrededor y es común que presenten manchas moteadas de bloque de roca.
- **Abanicos aluviales.** Los abanicos aluviales se reconocen por la forma de abanico y tienden a estar situados en el fondo de áreas donde la pendiente del talud cambia lateralmente en forma brusca.
- **Profundización del relieve por ríos, corrientes de agua o cárcavas.** Las incisiones profundas en corrientes de agua son generalmente elementos que afectan la susceptibilidad a los deslizamientos y estas pueden identificarse por los tonos claros en la cabeza de las corrientes donde la roca expuesta puede observarse.

- **Zonas de humedad.** Las zonas de humedad se identifican por cambios repentinos a tonos más oscuros y por cambios fuertes en la tonalidad de la vegetación. Como se indicó anteriormente los tonos oscuros son típicos de zonas de humedad.
- **Caídos de roca.** Las áreas de caídos de roca se pueden identificar por el color claro de los afloramientos rocosos en la parte alta de los escarpes y las manchas moteadas de los bloques de roca en la base de los escarpes.
- **Deslizamientos planares.** Estos deslizamientos se pueden identificar por su planta lineal y su topografía suave sin cambios bruscos.
- **Deslizamientos de rotación.** Se identifican por el escarpe arriba de la cabeza del deslizamiento y la superficie de movimiento con manchas moteadas.
- **Flujos.** Los flujos tienen una configuración en planta similar a los deslizamientos de traslación, pero adicionalmente se observa la acumulación de material o la formación de un abanico al final del movimiento.
- **Reptación.** Estos movimientos se identifican principalmente por la inclinación de árboles, postes y cercas. La textura es suavemente rugosa y se observan desplazamientos en las líneas de las cercas y otros elementos lineales.
- **Cárcavas.** Las cárcavas son generalmente cortas y con forma de flecha en colores claros donde el suelo o roca ha sido expuesto.

El área a investigar depende del tamaño del proyecto y de la extensión de los factores geológicos y topográficos que afectan el problema a estudiar. Cuando se buscan movimientos potenciales que no se han desarrollado, el área a investigar no se puede determinar por adelantado.

El área a estudiar debe ser lo más extensa posible, así:

- Los deslizamientos deben relacionarse con áreas estables a su alrededor.
- Los deslizamientos son en general mucho más extensos que lo que se cree inicialmente.
- Como regla general, el área a estudiar debe ser al menos el doble del área que se presume comprende el problema.
- El área debe incluir las fuentes de agua subterránea y superficial, y las estructuras geológicas que puedan afectar la estabilidad.

La profundidad de la investigación es todavía más difícil de definir, los sondeos deben profundizarse hasta identificar los materiales estables por debajo de los movimientos reales o potenciales. Las especificaciones de los estudios deben ser flexibles para permitir la adición de cantidades suficientes de sondeo que con mucha frecuencia se van a requerir.

El período de estudio debe incluir periodos lluviosos y secos, y por lo menos, debe obtenerse información de un año de duración, aunque es común que los fenómenos climáticos críticos tarden 10 a 20 años en repetirse en su máxima actividad. Todo talud debe diseñarse para algo más que las peores condiciones climáticas que se esperen, de lo contrario se puede llegar a conclusiones optimistas las cuales tienen un nivel alto de incertidumbre.

3.3.2 SONDEOS.

El **sondeo geotécnico** es un tipo de prospección manual o mecánica, perteneciente a las técnicas de reconocimiento geotécnico del terreno, llevadas a cabo para conocer las características del terreno. De ellos se pueden obtener testigos del terreno perforado, así como muestras, y realizar determinados ensayos en su interior.

En el estudio de los movimientos de laderas, los sondeos buscan identificar y caracterizar las formaciones más débiles que pueden afectar el movimiento, así como también aquellas formaciones resistentes que pueden limitar la extensión de la zona de falla.

Además, los sondeos sirven para localizar niveles de agua subterránea, presiones y características del agua, identificar la distribución sub-superficial de materiales, cuantificar las propiedades físicas de los materiales (humedad, gradación, plasticidad, resistencia al corte y otras propiedades) y así poder emplearlos posteriormente en el análisis de estabilidad.

Otra característica de los sondeos es la de realizar ensayos de campo, tales como penetración, veleta, etc. y desarrollar ensayos geofísicos. Los más usuales son los sondeos a rotación, los sondeos a percusión y las calicatas o pozos a cielo abierto.

En este orden de ideas, el número, espaciamiento deben ser tal que se obtenga la totalidad de la información requerida para proponer medidas de prevención de manera eficaz y económica.

Algunos investigadores estipulan el número y profundidad de los sondeos; sin embargo, no existe una regla rígida que fundamente o especifique el procedimiento para conseguir sondeos con una representatividad estricta y precisa.

El espaciamiento de los sondeos depende del tamaño y características del movimiento, Jaime Suarez en su libro *Análisis Geotécnico para deslizamientos*, propone para una zona donde se sospecha puede ocurrir un movimiento, se sugiere un sistema de cuadrícula de sondeos y donde ya ocurrió el movimiento se requiere sondeos por dentro y por fuera del movimiento.

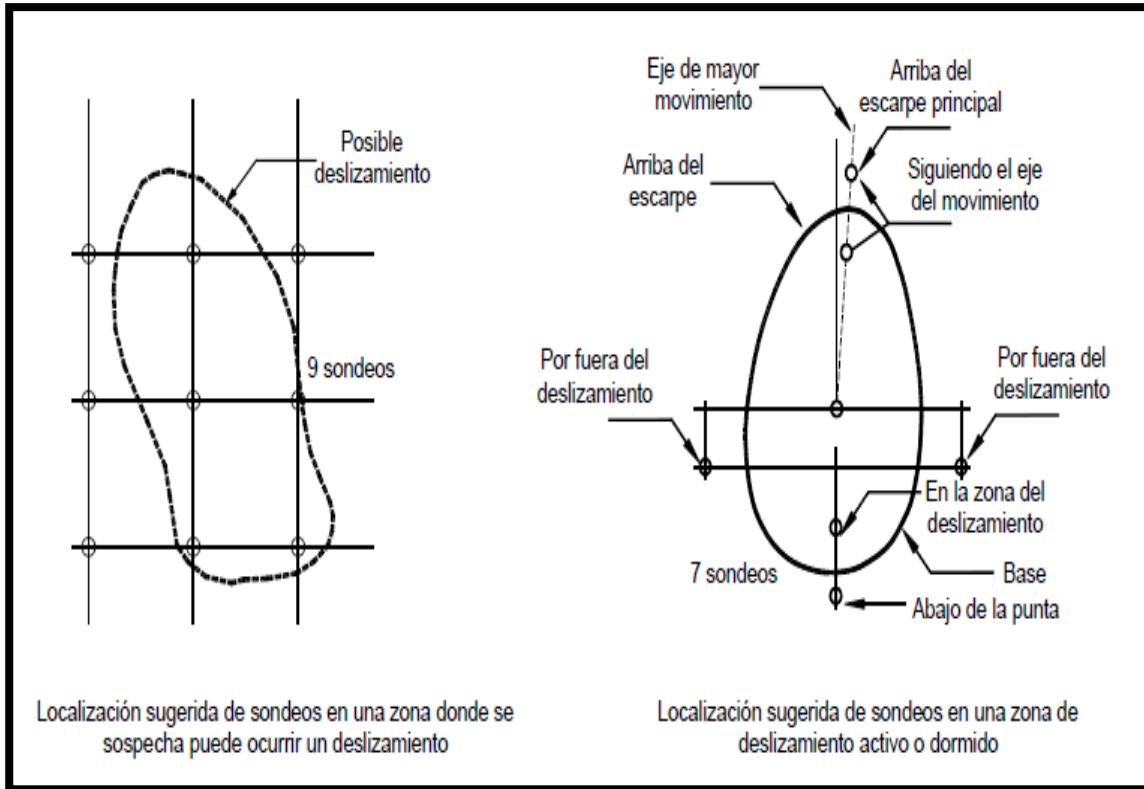


Figura 3.3 Localización sugerida general de sondeos para estudios de movimientos de laderas.

Los sondeos deben localizarse en tal forma que se puedan obtener secciones estratigráficas estratégicas. Una regla general es localizar los sondeos sobre una línea central en el deslizamiento. Como mínimo se recomienda un sondeo arriba de la corona del movimiento, un sondeo en la cabeza del deslizamiento, un sondeo intermedio y un cuarto de sondeo en el pie o área de levantamiento.

La perforación en la parte baja del movimiento es muy importante para el diseño de las obras de remediación, mitigación o estabilización. No hay una regla rígida para determinar la profundidad a la cual debe llegarse con los sondeos. Sin embargo, el factor que controla la profundidad de los sondeos requeridos es la naturaleza de las condiciones geológicas a profundidad y la configuración de la superficie del terreno.

3.3.2.1 MÉTODOS DE SONDEOS.

Existen diferentes métodos de sondeos, algunos no son muy frecuentes en nuestro país, debido a su costo, falta del equipo necesario y de operadores especialmente capacitados para llevarlos a cabo.

Algunos métodos de sondeos son los siguientes:

<p>Sondeos a rotación.</p> <p>Los sondeos a rotación pueden perforar cualquier tipo de suelo o roca hasta profundidades muy elevadas y con distintas inclinaciones. La profundidad habitual no excede los 100 metros, aunque pueden alcanzarse los 1,000 metros.</p>	
<p>Sondeos a percusión.</p> <p>Se utilizan tanto en suelos granulares como en suelos cohesivos, pudiendo atravesar suelos de consistencia firme a muy firme. Este tipo de sondeos puede alcanzar profundidades de hasta de 30 ó 40 metros, si bien la más frecuentes son de 15 a 20 metros.</p>	
<p>Penetrómetros de cono.</p> <p>Da información de espesores de suelo suelto y profundidades de roca y provee información general sobre la calidad de los mantos de suelo. No se obtienen muestras ni se identifican los estratos.</p>	

Tabla 3.10 Métodos de sondeos.


<p style="text-align: center;">Barrenos.</p> <p>Permite definir el perfil estratigráfico en suelos granulares y algunos tipos de arcilla.</p> <p>Las muestras son alteradas y la penetración en suelos duros es muy difícil.</p>	
<p style="text-align: center;">Penetración Estándar.</p> <p>Método rápido y eficiente de determinar la resistencia de los materiales y al mismo tiempo recuperar las muestras.</p> <p>Las muestras son alteradas y en materiales muy duros se produce rechazo.</p>	
<p style="text-align: center;">Calicatas.</p> <p>Las calicatas, zanjas, rozas, pozos, etc., consisten en excavaciones realizadas mediante medios mecánicos convencionales, que permiten la observación directa del terreno a cierta profundidad, así como la toma de muestras y la realización de ensayos en campo.</p>	

Tabla 3.11 Métodos de sondeos.

3.3.3 MUESTREO.

De los sondeos se pueden obtener dos tipos de muestras: *muestras alteradas* y *muestras inalteradas*. Se dice que una muestra es alterada cuando no guarda las mismas condiciones que cuando se encontraba en el terreno de donde procede, e inalterada en caso contrario.

➤ **Muestreo alterado.**

Las muestras alteradas son utilizadas para ensayos de clasificación de suelos y visualizar el perfil y la superficie de falla.

Para obtener muestras alteradas el muestreo debe efectuarse según el fin que se persiga. Algunos de los métodos para extraer este tipo de muestras se presentan a continuación:

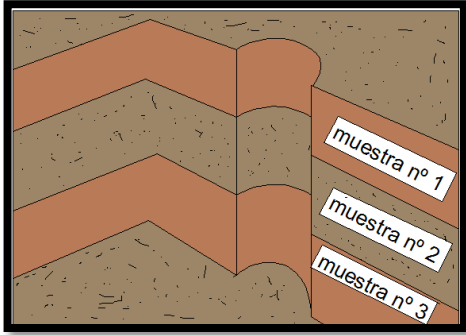
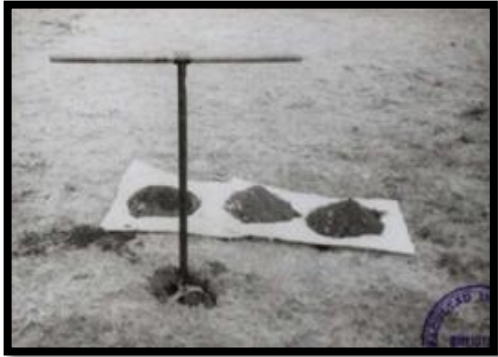

<p>Toma de muestras en un sondeo a cielo abierto.</p>	
<p>Muestra alterada extraída con barreno.</p>	
<p>Toma de muestras en Zanjas abiertas</p>	

Tabla 3.12 Toma de muestras alteradas.

➤ **Muestreo inalterado.**

Las muestras inalteradas se utilizan para determinar las propiedades mecánicas del suelo, en ensayos de resistencia y compresibilidad.



Figura 3.4 Contorno de muestra inalterada.



Figura 3.5 Ahondamiento en excavación.



Figura 3.6 Protección de muestra inalterada con parafina.



Figura 3.7 Empacamiento de muestra inalterada.

La excavación de pozos a cielo abierto rinde siempre una información correcta hasta donde él llega, pues permite la inspección visual de los estratos del suelo. Sin embargo, la mayoría de las investigaciones del suelo requieren estudios del terreno a profundidades mayores que las que pueden ser alcanzadas satisfactoriamente con excavaciones a cielo abierto.

La calidad de las muestras es un factor muy importante para que los resultados de los ensayos sean confiables. Sin embargo, en algunos tipos de investigación se pueden

recolectar muestras de baja calidad para obtener información general de los perfiles de suelo. En la tabla 3.13 se presentan a modo de resumen, los tipos de muestras que se pueden obtener de acuerdo a la calidad en su extracción.

Clase de calidad de la muestra	Propósito	Propiedades del Suelo que se podrían obtener
1. Completamente inalterada	Datos precisos de laboratorio para la utilización en análisis detallado. En suelos sensitivos.	Parámetros de resistencia total y efectiva, Compresibilidad, Densidad, Porosidad, Contenido de agua
2. Inalterada.	Datos precisos de laboratorio para la utilización en análisis detallado. En suelos no sensitivos.	Fábrica Propiedades inalteradas o remoldeadas del suelo
3. Semialterada.	Examen de la fábrica y algunos ensayos de laboratorio, los cuales no se recomienda utilizar en análisis detallado.	Contenido de agua Fábrica Propiedades remoldeadas del suelo
4. Alterada.	Secuencia general de la fábrica y propiedades muy generales de los suelos.	Propiedades remoldeadas del suelo
5. Lavada.	Secuencia muy aproximada de la fábrica.	Ninguna propiedad

Tabla 3.13 Clases de calidad de muestreo.

3.3.4 ENSAYOS.

Todo estudio geotécnico se elabora en base a dos tipos de ensayos:

- Ensayos de campo
- Ensayos de laboratorio.

3.3.4.1 ENSAYOS DE CAMPO.

Los ensayos de campo tienen la ventaja de poder simular situaciones en el ambiente mismo del talud y son muy útiles para cuantificar los parámetros que se emplean en el análisis de un deslizamiento.

Estos ensayos se dividen en dos grupos principales: Ensayos directos (sondeos mecánicos y calicatas) y ensayos indirectos (penetraciones dinámicas y ensayos geofísicos). Figura 3.8.

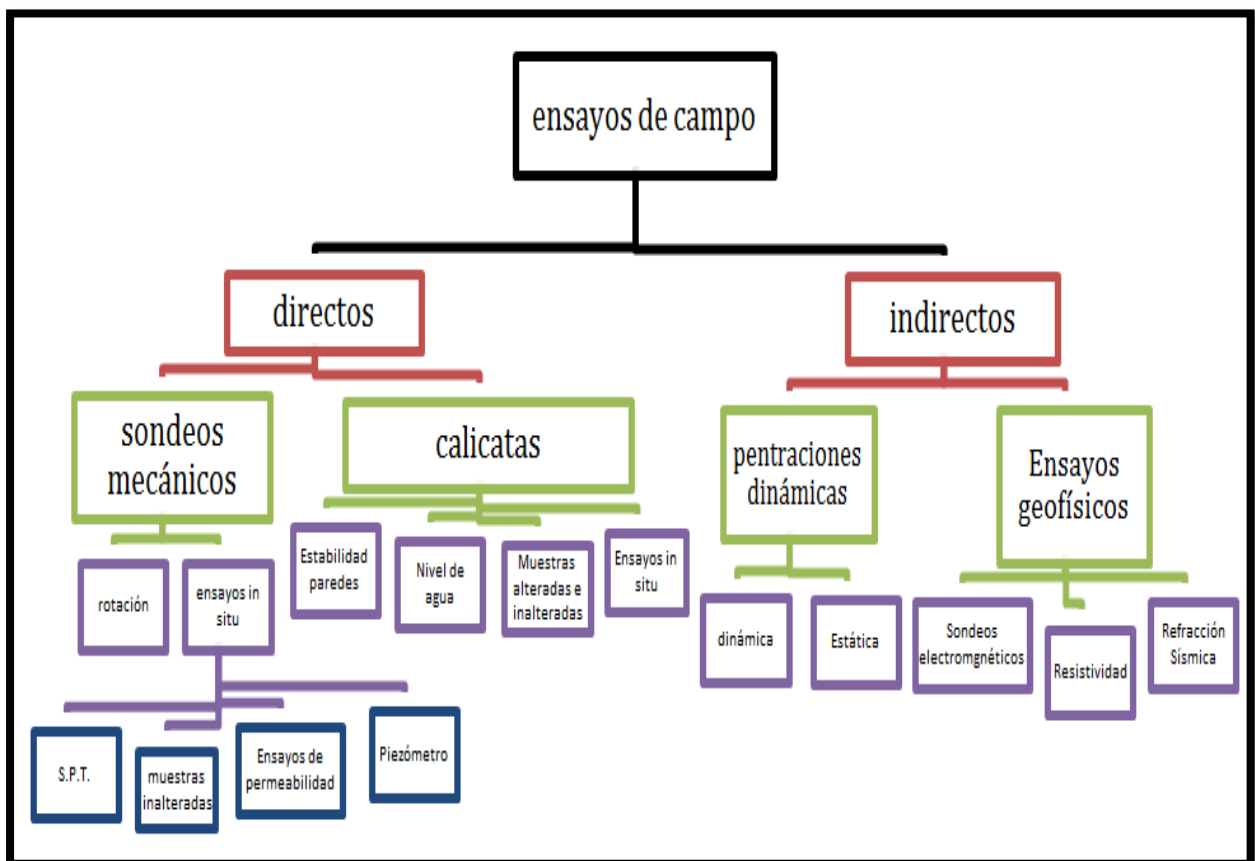


Figura 3.8 Organigrama de ensayos de campo más comunes.

3.3.4.2 ENSAYOS DE LABORATORIO.

Una vez obtenidas las muestras necesarias, son llevadas al laboratorio para que se le apliquen los ensayos correspondientes.

Se deben realizar ensayos que permitan obtener las propiedades de los suelos para los análisis, de tal forma que sean lo más representativos de las situaciones reales en el campo.

La gravedad puede mover los materiales térreos sólo cuando es capaz de vencer la resistencia del material que le impide moverse. Es claro, entonces, que cualquier factor que reduzca esta resistencia hasta el punto donde la gravedad pueda intervenir, contribuye al movimiento de masa.

Dependiendo en cómo actúan, los factores se clasifican en dos grupos: Condicionantes y Desencadenantes. Los primeros, también conocidos como pasivos o intrínsecos, son aquellos que dependen de la naturaleza, estructura y forma del terreno, mientras que los segundos, también llamados activos o externos, son factores que actúan desde fuera del medio que se estudia, provocando o desencadenando un deslizamiento.

A partir de esto, los factores condicionantes son accionados por las propiedades físicas del suelo y los factores desencadenantes por las propiedades mecánicas.

3.3.5 PRUEBAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.

Las propiedades físicas de los suelos, son aquellas que nos proporcionan criterios para distinguir entre sí diferentes tipos de suelos y nos dan instrucciones útiles para describir los suelos en forma adecuada.

Para conocer las propiedades físicas del suelo es necesario realizar pruebas tales como determinación del contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de Atterberg, gravedad específica de los sólidos del suelo, relaciones volumétricas y gravimétricas. Además se puede incluir una descripción visual-manual de los materiales.

En la Tabla 3.14 se muestran las normas ASTM utilizadas para la determinación de las propiedades físicas de los suelos.

Ensayo	Norma
Determinación del contenido de Humedad	ASTM D 2216
Descripción e identificación de suelos, procedimiento visual-manual	ASTM D 2488
Método de ensayo para límite plástico, límite líquido e índice de plasticidad de suelos	ASTM D 4318
Distribución Granulométrica	ASTM D 422
Gravedad específica de los suelos	ASTM D854

Tabla 3.14 Normas ASTM utilizadas para determinación de propiedades físicas.

3.3.5.1 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE UN SUELO EN EL LABORATORIO, POR MASA (ASTM-D 2216).

Un espécimen de ensayo es colocado en un recipiente y secado en un horno a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta obtener una masa constante. La pérdida de masa debido al secado se considera que es el agua. El contenido de agua (humedad) es calculado, dividiendo la masa de agua entre la masa del espécimen seco y multiplicando esta relación por 100.

El contenido de agua es una de las propiedades físicas más significativa, debido a que con éste se establece una correlación entre el comportamiento del suelo y sus propiedades índices.

Esta propiedad es usada para expresar las relaciones de fase de los sólidos, agua y aire en un volumen de material.

También es empleado para expresar la consistencia relativa o índice de liquidez en suelos de grano fino (cohesivo).

3.3.5.2 PRACTICA PARA LA DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS (PROCEDIMIENTO VISUAL-MANUAL ASTM-D 2488).

La identificación de un suelo conocer en forma cualitativa, las propiedades mecánicas e hidráulicas del suelo, pero para ello, es necesario poseer experiencia; para poder brindar una clasificación correcta.

Las características principales para identificar suelos finos en una investigación de campo son: dilatancia, tenacidad, resistencia en estado seco, plasticidad, ensayo de brillo, sedimentación y sonido. Para determinar la presencia de materia orgánica, óxidos de hierro, metales, etc., las características a determinar son el color y el olor.

Para suelos de grano de grueso se determina la angulosidad de las partículas y tamaño.

Esta práctica de ensayo tiene un valor particular para la agrupación de muestras de suelos similares, para que sólo un mínimo de pruebas de laboratorio deban ser realizadas para la correcta clasificación del suelo.

La habilidad para describir e identificar los suelos correctamente es aprendida de manera más fácil bajo la guía de un personal experimentado, pero también puede ser adquirida sistemáticamente mediante comparaciones numéricas de los resultados de ensayos de laboratorio para suelos típicos de cada tipo con sus características visuales y manuales.

Cuando se requieran describir e identificar muestras de suelos de una perforación dada, una extracción de una calicata o un grupo de alguno de los anteriores, no es necesario seguir y realizar todos los procedimientos descritos en esta práctica para cada una de las muestras, ya que pueden agruparse los suelos que parezcan ser similares y solo una muestra ser descrita e identificada.

3.3.5.3 DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS (ASTM-D 4318).

El límite líquido es determinado realizando ensayos en los que una porción del espécimen es extendida en una copa (Copa de Casagrande), luego es dividida en dos utilizando un ranurador y posteriormente es sacudido el suelo por medio de repetidos golpes proporcionados a la copa hasta que las dos mitades de la muestra se unan una distancia de 13 mm. (½ pulgada).

Son dos los métodos que existen para calcular el límite líquido, uno determinado con múltiples puntos (Método A), donde tres o más ensayos sobre un rango de contenidos de humedad son graficados o calculados para hacer una relación de la cual el límite líquido es determinado. El otro método (Método B), utiliza el dato de dos ensayos a un contenido de humedad multiplicado por un factor de corrección para determinar el límite líquido.

La elección del método a utilizar depende de las exigencias del proyecto, si la persona interesada en la ejecución del ensayo no especifica qué método utilizar, se usará el método A, en caso contrario el B.

El límite plástico es determinado presionando y enrollando una fracción pequeña de suelo plástico en forma de hilo de un diámetro de 3.2 mm (1/8plg.) hasta que el contenido de agua es reducido a un punto en el cual, éste se desmorona y ya no puede ser alargado por presión y re-enrollado. El índice de plasticidad se calcula como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.



Figura 3.9 Copa de Casagrande (Limite Líquido) **Figura 3.10** Rolado de barritas desuelo. (Límite Plástico)

3.3.5.4 DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA (ASTM-D 422).

El conocimiento de la composición granulométrica de un suelo grueso sirve para discernir sobre la influencia que puede tener en la densidad del material compactado. El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en por ciento de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo.

La distribución granulométrica es expresada a través de un gráfico semilogarítmico denominado “curva granulométrica”, el cual lleva por abscisas la abertura de las mallas y por ordenadas el material que pasa por dichas mallas.



Figura 3.11 Proceso de vibrado con rop-tap.

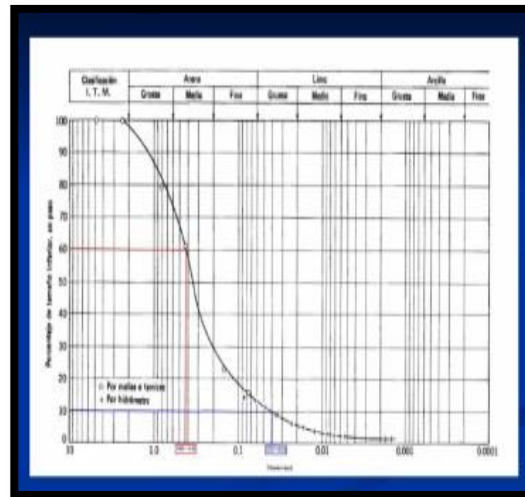


Figura 3.12 Curva Granulométrica.

3.3.5.5 ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA (ASTM D-854).

La norma ASTM D-854, define este término de gravedad específica como la relación de la masa de una unidad de volumen de un material a una temperatura establecida a la masa del mismo volumen de agua destilada libre de gas a la misma temperatura.

A través de la prueba de gravedad específica podemos determinar:

- Relación de vacíos
- Compacidad del suelo.

- El peso unitario en el suelo



Figura 3.13 Matraces utilizados para el ensayo de gravedad específica de los suelos.

3.3.6 PRUEBAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.

En el estudio de movimientos de laderas, determinar las propiedades mecánicas del suelo es de gran importancia, ya que con ello se conocen parámetros como el ángulo de fricción, la resistencia a cortante, etc. Además, dichos parámetros nos ayudarán a la hora de querer modelar, proponer o diseñar obras de prevención de riesgos.

En la siguiente tabla se muestra el nombre de los ensayos más comunes en la determinación de las propiedades mecánicas y la norma ASTM utilizada para cada uno.

Ensayo	Norma
Compresión Triaxial no consolidada y no drenada	ASTM-D2850
Ensayo de Corte Directo	ASTM D-3080

Tabla 3.15 Norma utilizada para la determinación de las propiedades mecánicas del suelo.

3.3.6.1 ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL NO CONSOLIDADA - NO DRENADA PARA SUELOS COHESIVOS (ASTM-D 2850).

La prueba de compresión triaxial son las más usadas para determinar las características de esfuerzo deformación y de resistencia de los suelos. En esta se podrían variar a voluntad las presiones actuantes en tres direcciones ortogonales sobre un espécimen de suelo, efectuando mediciones sobre sus características mecánicas en forma completa (deformación y resistencia al corte).

En una cámara triaxial, el suelo está sujeto a un estado tridimensional de esfuerzos, que deben tratarse con la solución general de Mohr, que envuelve el manejo de tres círculos diferentes.

Para realizar este método de ensayo se requiere labrar especímenes cilíndricos de suelo con una relación diámetro/altura de 2 a 2.5. El espécimen es cubierto con una delgada membrana de hule y se coloca dentro de una cámara de presión, la cual es llenada con agua.

Posteriormente, el espécimen queda sometido a una presión de confinamiento por compresión de un fluido en la cámara, aplicando un esfuerzo axial a cierta velocidad hasta generar la falla cortante en el espécimen. Se registran las lecturas de carga y los valores de deformación axial obtenidos del indicador de deformación, luego el espécimen se retira de la cámara y se dibuja un esquema mostrando la falla que éste presenta.

En este método de ensayo la resistencia a la compresión de un suelo es determinada en términos de esfuerzos totales, por esta razón, el esfuerzo resultante depende de la presión generada por el fluido en los poros durante el proceso de carga.

El ensayo Triaxial constituye el método más versátil en el estudio de las propiedades esfuerzo-deformación. Con este ensayo es posible obtener una gran variedad de estados reales de carga.



Figura 3.14 Máquina de compresión Triaxial



Figura 3.15 Superficie de falla ocurrida al espécimen

3.3.6.2 MÉTODO DE ENSAYO PARA CORTE DIRECTO (ASTM D 3080).

Este método de ensayo consiste en colocar un espécimen de suelo en el dispositivo de corte directo y aplicar una tensión normal predeterminada, proporcionándole humedad o drenaje al espécimen o ambos, consolidando éste bajo la tensión normal. Posteriormente se liberan los marcos que contienen al espécimen desplazando horizontalmente una mitad de la caja con respecto a la otra, a una velocidad constante de deformación, midiendo la resistencia de corte y los desplazamientos horizontales, según como es cortado el espécimen.

El ensayo de corte directo es apropiado para la determinación relativamente rápida de las propiedades consolidadas y drenadas de resistencia, porque las trayectorias del drenaje a través del espécimen de ensayo son cortas, por lo que permiten disipar la presión excesiva de poros más rápidamente que con otros ensayos de esfuerzos drenados. El ensayo puede hacerse en todos los materiales de suelos no alterados, remoldeados o compactados.

Los resultados del ensayo son aplicables para la evaluación de la resistencia en una situación de campo, donde la consolidación completa ha ocurrido bajo las tensiones normales existentes. La falla es alcanzada lentamente bajo condiciones drenadas para que las presiones excesivas de poros sean disipadas. Pueden emplearse los resultados de varias pruebas para expresar la relación entre el esfuerzo de consolidación y la resistencia de corte drenada.

Durante la prueba de corte directo, existe rotación de esfuerzos principales que pueden o no modelar las condiciones de campo. Es más, la falla podría no generarse en el plano débil,

debido a que ésta es forzada a ocurrir en o cerca de un plano horizontal en la mitad del espécimen. La localización fija del plano en el ensayo puede ser una ventaja en la determinación de la resistencia de corte a lo largo de planos débiles reconocibles dentro del material de suelo y para interfaces de ensayos entre materiales no similares.

Los esfuerzos de corte y desplazamientos son distribuidos de una manera no uniforme dentro del espécimen y una altura apropiada no es definida para los cálculos de deformaciones de corte u otros valores de ingeniería asociados. La velocidad lenta de desplazamiento, provee una disipación de las presiones de poro excesivas, pero también permite el flujo plástico de suelos cohesivos suaves. Debe tenerse el cuidado de asegurar que las condiciones del ensayo representen aquellas que se están investigando.

El rango en los esfuerzos normales, velocidad de corte y condiciones generales del ensayo, deben ser seleccionadas para aproximarse a las condiciones específicas del suelo en estudio.



Figura 3.16 Máquina de corte.

3.3.7 ERRORES EN LOS ESTUDIOS GEOTECNICOS.

En muchas ocasiones nos encontramos con que los estudios geotécnicos pueden conducir a errores como: Niveles freáticos mal estimados o resistencias de terrenos muy por encima o debajo de las indicadas en el informe.

Estos errores frecuentemente son por efecto de:

- Escasos presupuestos para la realización de los trabajos de campo.
- Falta de testificación y descripción adecuada de los sondeos.
- Sustitución de reconocimientos en profundidad, realizado por calicatas.
- Ausencia de técnicos adecuados en la supervisión de la ejecución de los trabajos.

3.4 ESTUDIO HIDROLÓGICO.

El estudio hidrológico de la cuenca, nos permite de la mejor manera, conocer la cantidad de lluvia precipitada que cae en la cuenca donde se encuentra ubicada la ladera afectada, además nos da una idea de cuánta agua es almacenada en el subsuelo de la cuenca y cuánta agua es drenada en forma de escorrentía superficial fuera de la misma durante un evento climático.

Las precipitaciones son factores que propician el colapso de los enlaces entre las partículas que compone el suelo, afectando el comportamiento de la ladera es decir, generando un desequilibrio de la masa del suelo.

El estudio hidrológico de la cuenca, incluye numerosos aspectos como:

- Cálculos de los parámetros morfológicos e hidrológicos de la cuenca en la que se encuentra la ladera:

Características físicas de la cuenca como: área, perímetro, pendiente, desnivel etc.

Características de comparación de la cuenca como es: coeficiente de compacidad y factor de forma.

- Cálculos de caudales máximos de escorrentía superficial para diferente periodo de retorno.

Determinación del tiempo de concentración.

Calculo de las intensidades de precipitación.

Calculo de coeficiente de escorrentía.

3.4.1 ESTUDIO DE LA CUENCA.

Cuenca, es una zona de la superficie terrestre delimitada por una línea imaginaria llamada parte agua, en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corriente hacia un mismo punto de salida.

El estudio hidrológico se inicia, con la localización geográfica de la cuenca, deberá presentarse el plano de las coordenadas geográficas que indiquen claramente la información necesaria. Generalmente se dispone de mapas en escala 1: 50,000, pero es preferible trabajar en escalas menores, como en 1:25,000; que indican con mayor exactitud las variaciones de las curvas de nivel y que permitan conocer detalles que no están presentes en escalas mayores.

3.4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CUENCA.

De las características de la cuenca puede depender la cantidad de agua escurrida y la posibilidad de erosión de la superficie del talud.

Delimitación de la cuenca hidrológica (parteaguas).

La delimitación de la cuenca consiste en la identificación de los cauces que contribuyen al drenaje particular de la cuenca en relación al punto de interés o punto de control.

Consideraciones al momento de trazar el parteaguas:

- Se inicia con establecer el punto o superficie de interés sobre la cual se definirá la cuenca, este se determina como aquel punto en donde la cuenca incluye el área del movimiento de la masa de suelo.
- Luego selecciona los puntos más elevados del entorno físico de la cuenca.
- Definición del sistema de drenaje superficial y el cauce más largo.
- La línea divisoria corta ortogonalmente a las curvas de nivel.
- Cuando la línea divisoria aumenta su altitud esta corta a la curva de nivel por su parte convexa.
- La línea divisoria nunca debe cortar a un arroyo, río, excepto en el punto de interés.
- Tomar en consideración algunas referencias; cuando curvas del mismo valor están muy juntas significan una gran pendiente, pero si están muy separadas representan tierras planas. Curvas de forma cóncava hacia arriba y valores descendentes significan un curso de agua. Curvas de forma convexa arriba y valores ascendentes, significan un cerro o montaña.
- Como producto final se obtiene la cuenca delimitada y la red de drenaje.

A continuación se enumeran las características físicas que se deben considerar al momento de analizar la cuenca que se está estudiando.

3.4.2.1 ÁREA (A).

Es la medida de la superficie de la cuenca en proyección horizontal delimitada por el parteaguas, expresada en kilómetros cuadrados (Km²).

Los instrumentos que se utilizan para medir el área de una cuenca son:

- Planímetro.
- Planímetro analógico.
- Digitalización.

3.4.2.2 LONGITUD PERIMETRAL DE LA CUENCA.

Es el perímetro de la cuenca (L_p) se calcula de muchas formas: curvímetro, a través de cuadrículas y haciendo uso del programa Autocad Land Desktop.

3.4.2.3 LONGITUD DEL CAUCE MÁS LARGO.

Es aquel en el cual la distancia es más larga en el recorrido de la vertiente, expresada generalmente en kilómetros (Km.).

3.4.2.4 DENSIDAD DE DRENAJE Ó LONGITUD DE CORRIENTE (D_d).

Se define como la longitud perimetral de la cuenca por unidad de área.

Se calcula mediante la siguiente fórmula³:

$$D_d = \frac{L_s}{A}$$

(Ec.3.1)

Donde:

D_d : densidad de drenaje (km/km^2)

L_s : Longitud total del drenaje del cauce.

A : Área de la cuenca.

³ Castro Salinas, Edwin Roberto y otros. Planificación de obras de protección a las inundaciones del río San José de la ciudad de Metapán, Departamento de Santa Ana, pág. 73. Tesis UES.

3.4.2.5 DRENAJE DE LA CUENCA.

Por drenaje se entiende la mayor o menor facilidad que presenta una cuenca hidrográfica para evacuar, las aguas provenientes de fuertes lluvias, que tratan de mantenerse sobre la superficie de la tierra, por el grado de saturación de las capas del subsuelo. Si este se encuentra saturado y la lluvia se encuentra almacenada sobre la superficie, llegara un momento en que las aguas allí contenidas tratan de evacuar a través del cauce natural, produciéndose así el drenaje de la cuenca.

Modelos de drenaje de las cuencas.

Un modelo de drenaje determinado describe el modo particular en que los afluentes (es decir, los cursos fluviales que alimentan a otros más grandes) y los ríos se subdividen en diferentes brazos. Los modelos de drenaje toman diversas formas dependiendo primordialmente de la estructura geológica del sustrato rocoso (Ver Figura 3.16).

El más común es el llamado *dendrítico*, que suele desarrollarse allí donde toda la cuenca de drenaje está constituida por el mismo tipo de roca. Este modelo recuerda el diseño de los árboles, con los afluentes más pequeños en el lugar de las ramas más alejadas y el río principal en el lugar del tronco. En él, los tributarios se reúnen trazando ángulos agudos, con uniones en Y.

El modelo de drenaje *rectangular* se origina cuando numerosos arroyos se entrelazan en forma de parrilla. Suele darse en rocas como el granito, cuyas grietas aprovechan los ríos para fluir.

Los modelos de drenaje *radial*, por su parte, aparecen cuando los ríos fluyen en todas las direcciones desde una elevación del terreno, que puede ser un volcán o cualquier tipo de masa rocosa más resistente a la erosión que el material que la rodea.

El drenaje *centrípeto* se produce cuando los ríos fluyen desde las elevaciones que rodean una cuenca o cubeta central, a menudo ocupada por un lago. Algunos de los modelos de drenaje más complejos se dan en zonas donde la erosión diferencial de diversos estratos de roca ha producido capas paralelas que alternan rocas blandas y duras.

En estos casos los ríos suelen tajar valles paralelos en los lechos de roca más blanda, con torrentes cortos que fluyen en ángulo recto desde las alturas de rocas más duras. Sin embargo, en algunos lugares los ríos cortan los lechos de roca dura y se juntan con los principales cauces fluviales paralelos. Este tipo de drenaje se llama en *espaldera* o de rejilla, porque recuerda a los enrejados sobre los que crecen la hiedra y las plantas trepadoras.

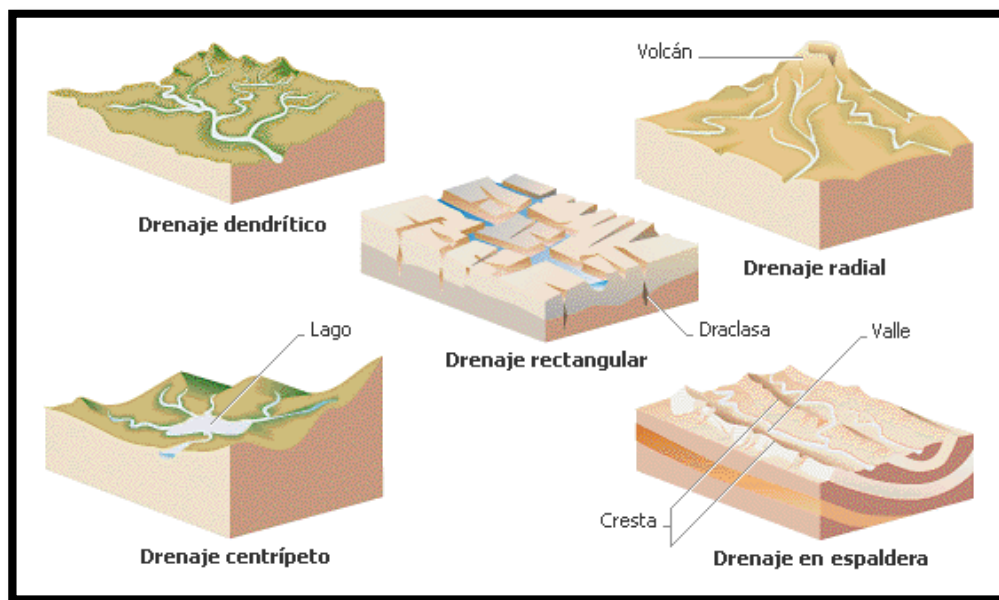


Figura 3.17 Modelos de Drenaje.

3.4.2.6 DESNIVEL DE LA CUENCA (H).

La elevación media es la dirección promedio de la cuenca con respecto al nivel de la mar, expresada en metros (mts.). Es de interés conocerla, ya que tiene relación con la temperatura y la precipitación⁴.

$$H = Elev_{mayor} - Elev_{menor} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

3.4.2.7 ELEVACIÓN MEDIA.

Las variaciones de elevación al interior de una cuenca, así como la elevación media, son datos importantes para el estudio de la temperatura, precipitación y escorrentía superficial.

Los métodos a utilizar para el cálculo de la elevación media son los siguientes:

Primer método: Semisuma de elevaciones.

Uno de los métodos más utilizados, pero el menos preciso, es el de determinar la elevación media por medio de la semisuma de la cota mayor y la cota menor⁵.

$$E_m = \frac{(H_{max} + H_{min})}{2} \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Donde:

E_m : Elevación media de la cuenca

H_{max} : Elevación máxima de la cuenca (mts.)

H_{min} : Elevación mínima de la cuenca (mts.)

⁴ Contreras López, Leivi Margarita y otros. Identificación y evaluación de escorrentías superficiales que generan sectores de inundación de alto riesgo en la zona urbana de la ciudad de San Miguel, pág. 73. Tesis UES.

⁵ Cañas Cuadras, Raúl Ernesto y otros. Propuesta de diseño de puente vehicular sobre la quebrada El Amate Caserío El Amate J/de Intipucá, Depto. de La Unión, pág. 80. Tesis UES.

Segundo método: Curva Hipsométrica.

La manera más precisa de determinar la elevación media de una cuenca es a través de la curva Hipsométrica. La curva hipsométrica es el reflejo de la evolución del drenaje de una cuenca, de acuerdo con Strahler, el cual indica que el ciclo fluvial normal consiste en dos fases principales y otras variantes de la segunda: La primera se llama fase de no equilibrio, la cual es un principio del ciclo de desarrollo de la cuenca; y la segunda se llama fase del equilibrio correspondiente al desarrollo de la cuenca. Durante esta fase se considera que los procesos de erosión y transporte de sedimentos son constantes.

Para calcular la elevación media (E_m) se toma como intervalo de las curvas de nivel según el obtenido en ecuación posterior y se calcula el área entre dichas curvas, las cuales darán un porcentaje del área total; estos porcentajes serán acumulados partiendo de las áreas parciales resultantes entre las curvas de mayor elevación hacia las curvas de menor elevación tal como se muestra en el tabla 3.16, luego estos datos se plotean o se grafican teniendo en el eje de las abscisas los porcentajes de áreas acumuladas y en el eje de las ordenadas la elevación media entre curvas de nivel.

La elevación media (E_m) de la cuenca, se considera que el 50 % de las áreas acumuladas de la curva hipsométrica.

ELEVACIONES (mts.)	AREA ENTRE CURVAS (Km ²)	% AREA	% AREA ACUMULADA
Σ			

Tabla3.16 Método de la curva hipsométrica.

Tercer método: Método Analítico.

Otro método utilizado es a través de una ecuación que relaciona algunos de los datos utilizados para la construcción de la curva hipsométrica, esta expresión es la siguiente⁶:

$$E_m = \frac{\Sigma(A \times em)}{A_c} \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Donde:

E_m : Elevación media de la cuenca

A : Área entre dos curvas de nivel (Km^2)

em : Elevación media entre dos curvas de nivel sucesivas (mts.)

A_c : Área de la cuenca (Km^2)

3.4.2.8 PENDIENTE MEDIA.

Es considerada una de las características hidrológicas más importantes de la cuenca, ya que es la que rige el drenaje. Además guarda relación compleja, con el grado de infiltración, superficie de escorrentía, humedad del suelo y contribución del agua subterránea a la corriente del cauce. El valor de la pendiente controla el tiempo de concentración que es de mucha importancia para conocer las magnitudes de las crecidas.

La pendiente media de la cuenca se calcula por la fórmula siguiente⁷:

$$S_m = \frac{\Sigma(L \times D)}{A_c} \quad (\text{Ec. 3.5})$$

⁶ Castro Salinas, Edwin Roberto y otros. Planificación de obras de protección a las inundaciones del río San José de la ciudad de Metapán, Departamento de Santa Ana, pág. 74. Tesis UES

⁷ Cañas Cuadras, Raúl Ernesto y otros. Propuesta de diseño de puente vehicular sobre la quebrada El Amate Caserío El Amate J/de Intipucá, Depto. de La Unión, pág. 81. Tesis UES.

Donde:

S_m : Pendiente media de la cuenca

L : Longitud de las curvas de nivel (Km.).

D : Intervalo entre dos curvas de nivel consecutiva (Km.)

A_c : Área total de la cuenca (Km²)

3.4.3 CARACTERÍSTICAS DE COMPARACIÓN.

La forma de la cuenca hidrológica afecta las tasas de flujo máximo. La forma de definir las es por las siguientes características que han sido propuestas por Gravelius:

3.4.3.1 COEFICIENTE DE COMPACIDAD.

Es adimensional y sus valores son mayores o iguales a uno y se relacionan únicamente con la forma de la cuenca, en cuanto más cerca se encuentre este coeficiente al valor de uno, más forma circular tendrá la cuenca, y por lo tanto habrá mejor aprovechamiento de la precipitación (ver figura 3.17).

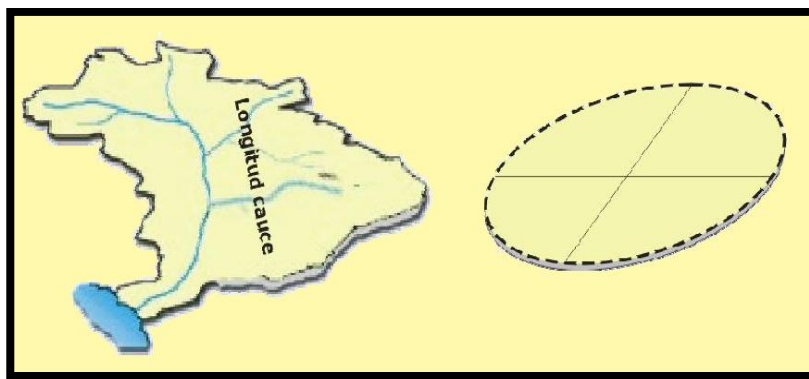


Figura 3.18 Comparación entre una cuenca y un círculo.

El coeficiente de compacidad K_c es la relación de dividir el perímetro de la cuenca entre el perímetro de un círculo que contenga el área total de la cuenca.

Para un círculo:

$$A = \pi \times r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Luego:

$$P = 2r = 2\pi \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \frac{\sqrt{A}}{0.28}$$

Y se obtiene la siguiente expresión⁸:

$$K_c = \frac{P \times 0.28}{\sqrt{A}}$$

(Ec. 3.6)

Donde:

K_c : Coeficiente de compacidad

P: perímetro de la cuenca (Km.)

A: Área de la cuenca (Km²)

Si $K_c = 1$: La cuenca es redonda.

Si $K_c > 1$: La cuenca es ovalada.

⁸ Cañas Cuadras, Raúl Ernesto y otros. Propuesta de diseño de puente vehicular sobre la quebrada El Amate Caserío El Amate J/de Intipucá, Depto. de La Unión, pág. 82. Tesis UES.

3.4.3.2 FACTOR DE FORMA.

Este coeficiente relaciona la longitud del eje central de la cuenca con el ancho medio.

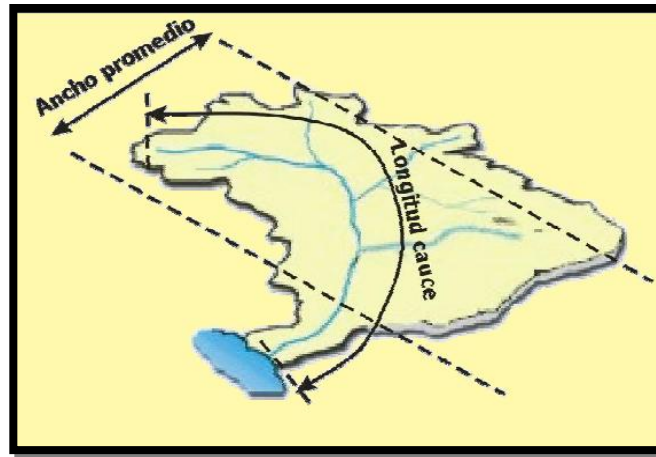


Figura 3.19 Factor de forma de una cuenca.

Comparando dos o más cuencas que poseen características físicas semejantes, tendrá mayor drenaje aquella que posea el coeficiente de forma más elevado, y está dada por la siguiente fórmula⁹:

$$K_f = \frac{L_m}{L_e} \quad (\text{Ec. 3.7})$$

Donde:

K_f : Coeficiente de forma (adimensional)

L_m : Ancho medio (Km.).

L_e : Longitud del eje central (Km.).

⁹ Cañas Cuadras, Raúl Ernesto y otros. Propuesta de diseño de puente vehicular sobre la quebrada El Amate Caserío El Amate J/de Intipucá, Depto. de La Unión, pág. 83. Tesis UES.

3.4.4 CALCULO DE AVENIDAS MAXIMAS.

Es el cálculo aproximado de las cantidades de agua que la cuenca le aporta al talud.

3.4.4.1 METODO HIDROMETEOROLOGICO.

Método Racional.

Esta fórmula establece una relación entre el caudal en función del área de la cuenca y de la intensidad de lluvia, a pesar de ser fórmula, se considera como un método, dado que por su escritura es aplicable a condiciones climatológicas.

Consiste únicamente en la aplicación de una fórmula, la cual expresa que la descarga es igual a un porcentaje de la precipitación multiplicada por el área de la cuenca. La duración mínima de la lluvia es el Tiempo de Concentración (T_c). Esta es la base del método o fórmula racional.

La fórmula se enuncia así¹⁰:

$$Q = \left(\frac{50}{3}\right)C \times I \times A \quad (\text{Ec. 3.8})$$

Donde:

Q: Caudal máximo instantáneo (m^3/seg).

C: Coeficiente de esorrentía (adimensional).

I: intensidad de lluvia (mm/m).

A: Área de la cuenca (Km^2)

Este método se basa en las siguientes hipótesis:

¹⁰ Cañas Cuadras, Raúl Ernesto y otros. Propuesta de diseño de puente vehicular sobre la quebrada El Amate Caserío El Amate J/de Intipucá, Depto. de La Unión, pág. 93. Tesis UES.

1. La proporción de escurrimiento resultante de cualquier intensidad de lluvia, es un máximo cuando esa intensidad de lluvia dura al menos tanto como el tiempo de concentración.
2. El máximo escurrimiento resultante de cualquier intensidad de lluvia con duración igual o mayor que el tiempo de concentración, es una fracción de esa precipitación, esto es, se supone una relación lineal Q e I , y $Q = 0$ cuando $I = 0$.
3. La frecuencia de la máxima descarga es la misma que la de la intensidad de lluvia para el tiempo de concentración dado.
4. La relación entre máxima descarga y tamaño del área de drenaje es la misma que la relación entre duración e intensidad de precipitación.
5. El Coeficiente de Escorrentía es el mismo para lluvia de diversas frecuencias.
6. El Coeficiente de Escorrentía es el mismo para todas las lluvias en una cuenca dada.

Este método no toma en cuenta el efecto de almacenamiento de la cuenca, pues supone que la descarga es igual a la precipitación fluvial menos toda la retención de la cuenca. Tampoco considera variaciones de intensidad de lluvia en el área, durante todo el tiempo de concentración. Estas suposiciones hacen particularmente susceptible de errores los cálculos, cuando el tamaño de área de drenaje es grande.

Con valores correctos de precipitación fluvial y para un coeficiente de escurrimiento dado, la fórmula racional siempre sobrestima el escurrimiento con errores apreciables al aumentar el tamaño de la cuenca. Por consiguiente, esta fórmula es confiable a cuencas pequeñas menores de 2 Km².

El valor del Coeficiente de Escorrentía depende en gran medida de las características que rigen la cantidad y velocidad de escurrimiento de la cuenca. Cuando el tipo de superficie que cubre el agua es muy variado, el valor de C se encuentra por ponderación.

Este método basan su estudio en la relación lluvia-escorrentía, datos de precipitación, parámetros físicos de la cuenca especialmente su tamaño para lo cual se encuentra limitada, además este es uno de los métodos más utilizados en nuestro país.

En la aplicación de este método se necesita conocer el tiempo entre el inicio de la lluvia y el establecimiento del caudal de equilibrio. Así como también el análisis de los datos de lluvia de varias tormentas a través del método estadístico Gumbel; conocido como análisis de intensidad, duración y frecuencia de lluvias (IDF). Este nos proporciona el valor de las intensidades máximas para una duración y periodo de retorno dado. Y por último se requiere la determinación del coeficiente de escorrentía (C) dentro de la cuenca.

3.4.5 TIEMPO DE CONCENTRACION.

Es el tiempo que tarda el agua precipitada, en recorrer desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de control, en este momento toda la superficie de la cuenca está drenando agua, produciendo en un tiempo determinado el *caudal máximo*.

La determinación del valor del tiempo de concentración ha sido motivo de estudio de muchas instituciones y autores. A continuación se presentan algunas fórmulas propuestas:

- 1) Fórmula de Pickering, publicada en el folleto "California Highways and Public Works"¹¹:

$$T_c = \left(0.871L^3/H\right)^{0.385} \quad (\text{Ec.3.9})$$

¹¹ Contreras López, Leivi Margarita y otros. Identificación y evaluación de escorrentías superficiales que generan sectores de inundación de alto riesgo en la zona urbana de la ciudad de San Miguel, pág. 84. Tesis UES.

Donde:

T_c : Tiempo de concentración, en horas.

L: Longitud del curso de aguas más largo, en Km.

H: Diferencia de elevación, en mts.

Esencialmente es la ecuación de Kirpich; desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California (U.S. Bureau of Reclamation, 1973, pp 67-71).

2) Fórmula Empírica de Kirpich (1940)¹²:

$$T_c = 0.0078 \left(\left(\frac{L}{0.3048} \right)^{0.77} \right) (S^{-0.385}) \quad (\text{Ec.3.10})$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración, en minutos.

L: Longitud del curso más largo de la cuenca, en mts.

S: Pendiente promedio de la cuenca, en mts/ mts.

Desarrollada a partir de información del SCS en siete cuencas rurales en Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3 a 10%); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto se debe multiplicar por 0.4; para canales de concreto se debe multiplicar por 0.2; no se debe hacer ningún ajuste para flujo superficial en suelo descubierto a para flujos en cunetas.

¹² Ven te Chow. Hidrología Aplicada, pág. 513, tabla 15.1.2.

3) Fórmula de Giandotti¹³:

$$T_c = \frac{\sqrt{A} + 1.5L_c}{0.85\sqrt{H_m}} \quad (\text{Ec.3.11})$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración, en horas.

A : Área de recogimiento de la cuenca, Kms²

L_c : Longitud del cauce más largo, en Kms.

H_m : Elevación media, en mts. calculada mediante la expresión:

$$H_m = \frac{(H_{max} + H_{min})}{2}$$

3.4.6 PERÍODO DE RETORNO.

El período de retorno de las lluvias que activan los deslizamientos depende del tipo de material del suelo y del sistema climático. Igualmente, los eventos de mayor período de recurrencia generan mayor número de deslizamientos y deslizamientos de mayor magnitud. A mayor conductividad hidráulica (permeabilidad) del suelo, se requiere una lluvia de mayor intensidad y por lo tanto, un mayor período de recurrencia del evento lluvioso. En las zonas de suelos arcillosos, los deslizamientos son más frecuentes que en las zonas de suelos más permeables.

Es el periodo de tiempo promedio, en años, en que un determinado evento (en este caso caudal), es igualado o superado por lo menos una vez.

¹³ Contreras López, Leivi Margarita y otros. Identificación y evaluación de escorrentías superficiales que generan sectores de inundación de alto riesgo en la zona urbana de la ciudad de San Miguel, pág. 85. Tesis UES.

Los sistemas hidrológicos son afectados algunas veces por eventos extremos, tales como tormentas severas, crecientes y sequías. La magnitud de evento extremo está inversamente relacionada con su frecuencia de ocurrencia, es decir, eventos muy severos ocurren con menor frecuencia que eventos moderados.

3.4.7 INTENSIDAD DE DISEÑO.

La intensidad de diseño es uno de los factores que se utilizan para determinar el caudal máximo de la cuenca ($Q = CIA$).

Se han considerado los valores de precipitaciones máximas anuales, que se inicia en el año 1962. Se analizara mediante la aplicación de la función de distribución de Gumbel, que ha dado buenos resultados en otros estudios previos ligados a movimientos de ladera.

3.4.7.1 ANALISIS DE LA PRECIPITACION

Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia I – D - F.

Este método correlaciona simultáneamente las 3 variables en una familia de curvas, con la ventaja de no necesitar transformar las precipitaciones a intensidades.

- Para utilizar este método se requiere calcular el tiempo de concentración de la cuenca (t_c), por medio de cualquier ecuación empírica (Kirpich, Giandotti, etc.).
- Se ordenan de menor a mayor los datos de intensidades con duraciones cercanas al t_c de la cuenca y se les calcula su frecuencia según Weibull¹⁴.

$$f_m = \frac{m}{(n + 1)} \times 100\%$$

(Ec. 3.12)

¹⁴ Cañas Cuadras, Raúl Ernesto y otros. Propuesta de diseño de puente vehicular sobre quebrada El Amate, Caserío El Amate, J/ de Intipucá, Depto. de La Unión, pág. 84. Tesis UES.

Donde:

f_m : Frecuencia empírica (%).

m: Posición del dato.

n: Número total de datos.

- Luego se grafican los datos en papel Tipo Gumbel I.
- Se trazan las líneas rectas para cada duración, según la disposición y dispersión que presenten los puntos en el papel Gumbel Tipo I (en forma gráfica o estadística).
- Luego, de acuerdo al Período de Retorno calculado, se traza una línea vertical, la cual toca las líneas rectas correspondientes a cada duración, debiéndose leer en el eje “Y” las Intensidades correspondientes a cada duración.
- Finalmente se grafican en papel doble logarítmico las intensidades encontradas contra las duraciones respectivas, debiéndose leer la intensidad correspondiente a una tormenta de duración igual al tiempo de concentración.
- Como resultado se tiene las intensidades de diseño de la cuenca para un periodo de retorno.

3.4.8 COEFICIENTE DE ESCORRENTIA (C).

El coeficiente de escorrentía es un parámetro que define la facilidad o dificultad del agua para fluir en la superficie terrestre, éste depende de las características de permeabilidad del suelo, la pendiente del terreno y de la cobertura vegetal presente en la cuenca.

El coeficiente de escorrentía puede variar entre 0 y 1. Es cero cuando la permeabilidad del terreno es alta, sus pendientes son bajas y tiene gran cobertura vegetal, es decir, toda el agua se infiltra sin escurrir nada; es uno, cuando el terreno es impermeable, sus pendientes son fuertes y no tiene cobertura vegetal. El coeficiente de escorrentía es utilizado para calcular el caudal máximo de la cuenca, considerando las características anteriores. El método que se utiliza para el cálculo del coeficiente de escorrentía es por medio del Nomograma de Ven Te Chow¹⁵, en el cual, se debe definir el tipo de material existente en la cuenca por medio de datos obtenido en prueba realizadas al suelo de la cuenca.

- Según sea el tipo de suelo encontrado, así es la permeabilidad de éste. Por ejemplo, el suelo arenoso es permeable; las arcillas son semipermeables, y las rocas son impermeables.
- Según sea la pendiente del terreno, así será la velocidad de escurrimiento del agua y su infiltración.

La pendiente de la cuenca se calcula por medio de la ecuación (Ec 3.13):

$$S_m = \frac{\Sigma(L \times D)}{A_c}$$

$$D = \frac{(H_{max} - H_{min})}{5}$$

(Ec 3.13)

¹⁵Ven Te Chow, Hidrología Aplicada. Editorial McGraw Hill, 1994

Donde:

S: Pendiente media de la cuenca (%)

L: Longitud de las curvas de nivel (Km.).

D: Intervalo entre dos curvas de nivel, consecutivas (Km.)

Ac: Área total de la cuenca (Km²)

D: intervalo de curvas de nivel (Km.)

H_{max}: Elevación máxima de la cuenca (msnm).

H_{min}: Elevación mínima de la cuenca (msnm).

- Según la cobertura vegetal, a mayor cobertura, mayor infiltración de agua. La cobertura vegetal se obtendrá a partir de información recopilada en el campo.

CAPITULO 4
RESULTADOS
Y
ANALISIS

4.1 ASPECTOS HISTÓRICOS Y GEOGRÁFICOS DEL CANTÓN GUALINDO ARRIBA.

El Cantón Gualindo Arriba, se encuentra ubicado en la parte Noreste del Municipio de Lolotiquillo, Departamento de Morazán, es un lugar bastante montañoso y con una cantidad muy grande de escorrentía superficial en época lluviosa.

4.1.1 DIVISIÓN POLÍTICA-ADMINISTRATIVA.

El Municipio de Lolotiquillo se divide en 4 Cantones y 11 Caseríos¹:

División Política-Administrativa del Municipio de Lolotiquillo	
Cantones	Caseríos
Gualindo Arriba	Gualindo Arriba
	Valle Nuevo
Manzanilla	Manzanilla
	Plan de La Cruz
	Los Castro
Gualindo Centro	Gualindo Centro
	El Chucullo
Gualindo Abajo	Gualindo Abajo
	Las Cruces
	La Bruja
	El Tempisque

Tabla 4.1 División política-administrativa del municipio de Lolotiquillo.

Cabe mencionar que existen problemas de coordinación en las instituciones oficiales y no oficiales, para establecer una división política-administrativa del municipio exacta, a continuación se muestran las diferentes contradicciones entre estas:

- 1- El número de Cantones que posee el Municipio y sus respectivos Caseríos, hay documentos por ejemplo los cuadrantes del CNR en escala de 1:25,000 que solo mencionan dos Cantones (Gualindo y Manzanilla).

¹ Según "MONOGRAFIA DEL DEPARTAMENTO DE MORAZAN Y SUS MUNICIPIOS", realizada por el CNR y el Instituto Geográfico Nacional Ing. Pablo Arnoldo Guzmán, en el año de 1998.

- 2- La correcta escritura de la palabra “Gualindo” o “Hualindo”, ya que en los mismos cuadrantes presentan contradicciones por ejemplo los de escala en 1:25,000 aparece con “H” y los de escala en 1:50,000 aparecen con “G”.
- 3- Publicaciones del Ministerio de Educación y otros, los escriben con “H”.
- 4- La alcaldía argumenta que se escribe con “G”.

Se tomo la división política-administrativa que aparece en la Monografía del Departamento de Morazán y sus municipios, ya que esta usa la alcaldía, además las personas que habitan la comunidad lo reconoce así como aparece en dicha monografía.

4.1.2 HIDROGRAFÍA.

Riegan el Cantón las quebradas: Gualindo, El Salto, El Cacalote, La Canoa. De todas estas quebradas la que tiene un realce mayor para el estudio es la quebrada Gualindo que recorre la zona donde está ocurriendo el movimiento de laderas, además se puede observar fácilmente la cantidad de quebradas de invierno, llamadas de esta forma ya que solo en invierno presentan agua superficial.



Figura 4.1 Quebrada Gualindo.

4.1.3 OROGRAFIA.²

Los rasgos más notables dentro del Cantón son los cerros: El Mojón, Cacalote, Chucuyo, El Jolote, El Marillo y el Cerro de Piedra. La ladera afectada no pertenece a ningún cerro de los que se mencionaron anteriormente, esta ladera no posee ningún nombre asignado, ni por instituciones ni por la comunidad. Hay que destacar que esta queda enfrente de una zona con pendientes bastante altas, entre el cerro el Mojón y el cerro Cacalote.



Figura 4.2 Zona de alta pendiente ubicada enfrente de la corona.

4.1.4 CLIMA.

El clima es caluroso, pertenece al tipo de tierra caliente. El monto pluvial anual oscila entre 2000 y 2400 mm según datos obtenidos por la Monografía del Departamento de Morazán y sus municipios.

4.1.5 VEGETACIÓN.

La flora constituye bosque húmedo tropical, bosque húmedo subtropical y bosque muy húmedo subtropical. Las especies arbóreas más notables son: cedro, ceiba, copinol, pepeto, madrecaao, conacaste, laurel, mango, carrito, quebracho, eucalipto, carbón, teca, aceituna y bambú.

² Parte de la geografía física que describe el relieve de una determinada zona.

4.2 CARACTERIZACIÓN SOCIO-ECONOMICA DEL CANTON GUALINDO ARRIBA.

En este apartado se presenta un conjunto de datos socio-económicos que ofrecen un panorama bastante elocuente de las condiciones en que se encuentra el Municipio de Lolotiquillo y en especial el Cantón Gualindo Arriba.

4.2.1 POBLACION.

La extensión territorial del Departamento de Morazán es de 1,265. 12 km² (Después de la resolución de la Haya) y su población según el anuario estadístico del Ministerio de Economía del año 2007 se estimaba en 174,406 habitantes, de este total el Municipio de Lolotiquillo cuenta con 4915 habitantes que representa el 2.82% de la población de Morazán.

4.2.2 EMPLEO E INGRESOS.

La situación del municipio de Lolotiquillo igual que casi en todo el departamento es preocupante, en el Cantón las cosas andan igual o peor. La actividad que más genera ingresos es el cultivo de granos básico, ganadería y la producción avícola, que últimamente ha estado en decaída debido a los efectos devastadores del cambio climático en donde los campesinos que cultivan no se explican las grandes variaciones del clima en estos tiempos; la mayoría de las personas obtiene recursos de las remesas que mandan parientes (principalmente hijas e hijos) y otra parte obtiene recursos del programa gubernamental “Comunidades Solidarias”. En el Cantón no hay instituciones de gobierno (solo hay una escuela) ni privadas, que puedan generar algún empleo a las personas del lugar, como se dijo anteriormente los ingresos generalmente se obtienen por dos fuentes: el cultivo de granos básicos y las remesas que mandan los parientes del extranjero.

4.2.3 EDUCACION.

La situación educativa en el Departamento de Morazán es preocupante y de seguir las tendencias actuales se hipotecan las posibilidades de desarrollo, como lo confirman los siguientes indicadores. De acuerdo con el informe de Desarrollo Humano (PNUD, 2001), una persona joven de Morazán o La Unión, cuenta con tres veces menos oportunidades de terminar la educación secundaria que una persona joven de San Salvador. Según este informe, el promedio de escolaridad de la población del departamento es 3.8 años (el promedio nacional es 5.3 años).

Datos cantonales sobre la situación educativa.				
Municipio	Cantón	Caseríos	A ³	B ⁴
Lolotiquillo	Gualindo Arriba	Gualindo Arriba	49%	56%
		Valle Nuevo	45%	54%
	Manzanilla	Manzanilla	40%	42%
		Plan de La Cruz	41%	41%
		Los Castro	40%	43%
	Gualindo Centro	Gualindo Centro	51%	57%
		El Chucullo	56%	53%
	Gualindo Abajo	Gualindo Abajo	48%	54%
		Las Cruces	49%	54%
		La Bruja	49%	58%
		El Tempisque	50%	57%

Tabla 4.2 Situación educativa en los diferentes caseríos del municipio de Lolotiquillo

4.2.4 SALUD.

La situación de la salud está relacionada con la seguridad alimentaria. Los recursos de salud son muy limitados en el Departamento de Morazán existiendo solo un Hospital ubicado en la Ciudad de San Francisco Gotera, los demás Municipios solo cuentan con Unidades de Salud en la cuales no siempre hay personal para atender emergencias. El Municipio de Lolotiquillo nada más cuenta con una clínica de salud (pública), ubicada en el centro de la Ciudad, y el Cantón de Gualindo Arriba cuenta con un Promotor de Salud.

³ % de población femenina adulta analfabeta.

⁴ % de población masculina adulta analfabeta.

Datos cantonales sobre la situación de salud.									
Municipio	Cantón	Caseríos	A ⁵	B ⁶	C ⁷	D ⁸	E ⁹	F ¹⁰	G ¹¹
Lolotiquillo	Gualindo Arriba	Gualindo Arriba	82%	98%	83%	16%	46%	58%	3%
		Valle Nuevo	80%	99%	80%	18%	45%	58%	3%
	Manzanilla	Manzanilla	94%	94%	97%	8%	72%	72%	4%
		Plan de La Cruz	97%	93%	99%	8%	70%	74%	4%
		Los Castro	93%	94%	98%	7%	74%	72%	6%
	Gualindo Centro	Gualindo Centro	78%	96%	84%	19%	47%	57%	4%
		El Chucullo	81%	96%	82%	15%	46%	56%	2%
	Gualindo Abajo	Gualindo Abajo	83%	97%	81%	17%	44%	58%	1%
		Las Cruces	80%	99%	85%	17%	43%	59%	1%
		La Bruja	81%	99%	83%	16%	49%	57%	1%
		El Tempisque	80%	96%	81%	16%	47%	58%	5%

Tabla 4.3 Situación de salud en los diferentes caseríos de Lolotiquillo.

4.2.5 VIVIENDA.

Los materiales con los cuales se construyen las viviendas, el acceso a las mismas, los métodos de construcción son factores que influyen en el desarrollo de las personas.

En el cantón Gualindo Arriba, la tenencia de la tierra está distribuida en la mayoría de la población que habita el lugar, las personas aparte de la casa donde habitan tienen parcelas en otros lugares del cantón, los cuales lo utilizan para realizar milpa, pastoreo de animales o simplemente lo alquilan a personas que quieran sembrar.

⁵ % de viviendas con piso de tierra.

⁶ % de viviendas con cocina de leña.

⁷ % de viviendas sin servicio de agua potable.

⁸ % de viviendas con perros y gatos sin vacunar.

⁹ % de viviendas sin letrina.

¹⁰ % de viviendas con disposición inadecuada de los desechos sólidos.

¹¹ % de viviendas con deficiente limpieza.

Datos relacionados con infraestructura y asentamientos.						
Municipio	Cantón	Caseríos	A ¹²	B ¹³	C ¹⁴	D ¹⁵
Lolotiquillo	Gualindo Arriba	Gualindo Arriba	48%	47%	30%	8%
		Valle Nuevo	48%	46%	31%	6%
	Manzanilla	Manzanilla	8%	100%	25%	1%
		Plan de La Cruz	5%	100%	26%	2%
		Los Castro	7%	99%	24%	4%
	Gualindo Centro	Gualindo Centro	46%	46%	30%	8%
		El Chucullo	45%	45%	30%	7%
	Gualindo Abajo	Gualindo Abajo	49%	47%	29%	5%
		Las Cruces	50%	49%	28%	8%
		La Bruja	48%	49%	31%	8%
		El Tempisque	49%	48%	30%	9%

Tabla 4.4 Situación de la infraestructura y asentamientos de Lolotiquillo.

En esta parte es necesario realizar un recuento de los daños que ha causado el movimiento de laderas que se está desarrollando en el Cantón Gualindo Arriba precisamente en el Caserío Gualindo Arriba en la infraestructura del lugar.

Datos de las casas que están dentro de la zona inestable.		
Casas	Daños	Habitadas
9	Grietas en paredes, grietas en el piso, derrumbe de paredes y techo, daños en columnas y vigas,	1 (3 personas)

Tabla 4.5 Descripción de las casas que se encuentran dentro de la zona inestable.



Figura 4.3 Pared derrumbada y grietas en el piso de una casa.

¹² % de viviendas con servicio de electricidad.

¹³ % de vías de acceso de cuarto orden.

¹⁴ % de viviendas construidas con material de desechos y bahareque.

¹⁵ % de viviendas con servicio de agua por cañería con tratamiento adecuado.

Datos de las casas que están fuera de los flancos laterales.		
Casas	Observaciones	Habitadas
13	7 de estas casas se encuentran al borde de los escarpes laterales, por lo tanto se encuentra en riesgo inminente si estos se siguen desarrollando.	13 (5 personas promedio)

Tabla 4.6 Observaciones y datos sobre las casas que se encuentra fuera de la zona inestable.



Figura 4.4 Casas que se encuentran en el borde de los flancos laterales.

Como se puede recalcar en las tablas anteriores las personas que habitaban la zona inestable, han prácticamente abandonado sus hogares, esto debido a la incertidumbre que ocasiona el movimiento de laderas, sin embargo existe todavía una familia la cual manifiesta no retirarse, los demás propietarios de las viviendas las habitan durante el día para llevarse algunos materiales de construcción reutilizables (teja, bloques, acero) y las abandonan al atardecer. Estas personas se han marchado para donde otros parientes como es el caso de José Lorenzo Guevara¹⁶, el cual manifiesta que está viviendo donde su suegra, y otros han pedido posada a otras familias. La tierra donde no hay infraestructura prácticamente está en abandono, es un pequeño porcentaje de éstas el que se utiliza para cultivar, generalmente donde no hay presencia de grietas. Según comentan los pobladores la mayoría de estas tierras actualmente las están utilizando para alimentar al ganado, mencionan que antes de que percibieran estos problemas, la mayor parte de la ladera era utilizada para sembrar milpa (maíz, frijol, sorgo y otros).

¹⁶ Habitante del cantón, su casa ahora se encuentra abandonada.

El movimiento de laderas se comenzó a notar por pequeñas grietas que fueron apareciendo en el terreno a mediados del año 2007, comentan que estas se fueron haciendo cada vez más grande y aumentando en longitud hasta aparecer en las primeras casas que se vieron afectadas.



Figura 4.5 Grietas en la pared de una casa y pequeña que se está comenzando a desarrollar.

4.2.6 PRESENCIA INSTITUCIONAL.

Este lugar cuenta con una escuela y también con la ADESCO de la comunidad, estas dos instituciones están ubicadas en el lugar, mas sin embargo, al lugar hay otras instituciones que ayudan y que no están ubicadas en el lugar por ejemplo: Fundemac, Protección Civil de Morazán, Ingenieros sin Frontera. Las cuales prestan ayuda para diferentes tareas en el cantón como por ejemplo: construcción de puentes, apoyo en el ámbito educacional, monitoreo de zonas de riesgos, etc.

4.3 ESTUDIO TOPOGRAFICO.

Aquí se presentan los resultados obtenidos a partir de la realización del levantamiento topográfico en base a la metodología propuesta en el capítulo anterior¹⁷. Estos se han dividido en varias partes y se presentan los datos obtenidos en forma de tablas.

4.3.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO.

Este fue realizado los días 16, 17 y 18 de marzo del 2011 con Estación Total, sacando una base de datos de 791 puntos¹⁸, los cuales sirvieron para elaborar los diferentes mapas que se describirán posteriormente.



Figura 4.6 Realización del levantamiento topográfico.

Los mapas que se elaboraron fueron los siguientes: planimetría y otros detalles, curvas de nivel, mapa de pendientes, ubicación de sondeos y bancos de marca, perfiles, mapa morfológico, mapa de uso del suelo (dentro y fuera de la zona inestable).

¹⁷ METODOLOGIA PARA LA RECOLECCION DE DATOS

¹⁸ Ver sección de Base de puntos en Anexo 56.

4.3.1.1 PLANIMETRIA Y OTROS DETALLES.

Este plano contiene detalles generales del movimiento de laderas¹⁹, como por ejemplo: los escarpes laterales y principales denotados por su respectiva simbología, el área del movimiento de laderas, un croquis de ubicación, esta georeferenciado a través de una grilla elaborada a partir de la superposición del cuadrante San Francisco en escala de 1:25,000, está ubicada la infraestructura que se encuentra dentro y fuera de la zona del deslizamiento, las grietas, los escarpes secundarios que se han formado, las diferentes quebradas que fluyen por el lugar, las calles que atraviesan la zona, nacimientos de agua y cancha.

Área.

El área afectada por el movimiento de laderas es de 123,521.67 m² (17.646 Mz).

Calles.

Las calles que se encuentran en la zona son calles de tierra, empedradas y concreteadas. La calle que llega al lugar es de tierra y parte desde Lolotiquillo, en invierno es poco transitable para automóviles que no tengan doble tracción y también existen zonas donde ocurren deslizamientos en los taludes aledaños a ésta. La calle que atraviesa el cantón una parte se encuentra hecha de tierra la otra es empedrada hasta llegar a un puente recién construido; de esta calle se dividen dos calles más que son de tierra, estas se dirigen en dirección de la cancha, es decir subiendo la ladera. Y por último está la calle que se dirige hacia el Cantón Manzanilla la cual se encuentra en tramos empedrados y otros concreteados. Los daños se pueden ver mayoritariamente cuando los escarpes laterales cruzan la calle interna del cantón y se pueden ver grietas en estas.

Detalles de calle que se encuentran dentro de la zona inestable.				
Tramo	Longitud (mts.)	Orientación	Material	Daños
1	119.09	Norte-Oeste	Tierra	Grietas
2	108.18	Norte-Este	Tierra	No Presenta
3	155.38	Sur-Oeste	Tierra	Grietas

Tabla 4.7 Detalles de la calle que presenta daños.

¹⁹ Ver ANEXO 58



Figura 4.7 Sistema de calles del Cantón Gualindo Arriba.

Escarpe Lateral.

Estos son los límites del movimiento, y van desde la zona de corona hasta los puntos donde el movimiento desemboca. Estos se clasifican como escape lateral izquierdo ó derecho y esta clasificación se realiza observando desde la corona hasta el pie.

Escarpes Laterales.				
Escarpe	Longitud (mts.)	Orientación	Rango de altura relativa ²⁰ (mts.)	Desnivel ²¹ (mts.)
Derecho	778.29	Sur-Oeste	1.5 – 0.2	91.78
Izquierdo	540.01	Sur-Oeste	3.5 – 0.5	68.89

Tabla 4.8 Detalles de los escarpes laterales.

²⁰ Es la que se mide de la parte estable al bloque hundido.

²¹ Es entre el punto que comienza (corona) y el punto donde termina (pie).



Figura 4.8 Escarpe lateral izquierdo.

Escarpe Principal.

Este se diferencia de los demás escarpes por dos cosas: 1- Se encuentra paralelo a la zona de la corona. 2- Su rango de alturas relativas es mayor con respecto a los demás escarpes. A continuación se presenta un resumen de los parámetros medidos.

Escarpe Principal		
Longitud (mts.)	Orientación	Rango de altura relativa (mts.)
288.32	Norte-Oeste	1-5

Tabla 4.9 Detalles de escarpe principal.

Cabe mencionar que aparte de los escarpes laterales y principal en la zona del deslizamiento se forman otros escarpes que en el plano son llamados Escarpes Secundarios, estos generalmente están formados paralelos a los escarpes laterales o principal, pero con alturas relativas menores que los antes mencionados.

Grietas.

Hay en gran cantidad dentro de la zona del movimiento de laderas, la mayoría de las grietas se nota con facilidad en la época de verano, pero no así en invierno debido a que la lluvia deposita materiales entre estas y también porque nace maleza y las cubre. Su anchura es relativa, y estas son las que más han dañado la infraestructura existente en el lugar como por ejemplo casas, ermita, calles, etc.



Figura 4.9 Grieta que ha dañado infraestructura.

Los grupos de grietas se desarrollan en las zonas adyacentes a los escarpes laterales y paralelas al escarpe principal, en la zona de la corona hasta el momento no presentan grietas, también existen grietas en la parte central de la zona pero no son muchas, las orientaciones son variadas pero existen tres grupos predominantes los cuales se presentan en la tabla siguiente.

Sistemas de Grietas.			
Sistema	Orientación ²²	Ancho (mts.) ²³	Ubicación
1	Norte-Este	0.10-1.5	Paralelas a los escarpes laterales.
2	Norte-Oeste	0.10-1.5	En las zonas medias del deslizamiento y cerca de los escarpes laterales.
3	-	0.10-1.5	Son radiales y se encuentran paralelas al escarpe principal.

Tabla 4.10 Detalles de grietas presentes en la zona.

Infraestructura

La infraestructura que se ha tomado en cuenta es la siguiente: casas particulares, ermita de la iglesia católica, escuela, clínica. Si bien es cierto, existe una obra paso en el lugar, esta será analizada en una etapa posterior del capítulo.

Infraestructura dentro de la zona del deslizamiento.			
Casas	Ermita	Clínica	Escuela
8	1	0	0

Tabla 4.11 Infraestructura que se encuentra dentro de la zona del movimiento de laderas.

Lagunas

El suelo del lugar a simple vista, es propicio para la retención de agua, por lo tanto se esperaba encontrar cuerpos de agua como lagos o lagunas. Y así fue, se encontraron dos lagunas, de las cuales solo una se describe en el plano, es la que se encuentra ubicada en la zona de la corona, la otra se discrimino debido a que no posee agua y es más bien formada por una pequeña quebrada de invierno.

Detalles de la Laguna.			
Estado	Diámetro Aproximado (mts.)	Época ²⁴	Descripción
Con Agua	56.84	Verano	Esta completamente llena de arbustos que crecen en pantanos, la profundidad del agua al menos en la orilla es de 50 cms.

Tabla 4.12 Detalles descriptivos de la laguna.

²² La orientación de una grieta son valores promedios, debido a que las mismas están compuestas por muchos tramos con diferentes orientaciones.

²³ El ancho de una grieta al igual que la orientación son valores promedios, en este parámetro también influye el desarrollo que esta tenga ya que podrían aumentar su valor.

²⁴ Se refiere a la época del año donde fue realizada la descripción (Invierno ó verano)

Nacimientos de agua.

Se han encontrado dos nacimientos de agua, los cuales se encuentran ubicados en la zona del movimiento de ladera.



Figura 4.10 Nacimiento de agua ubicado en la zona inestable.

Nacimientos de agua en la zona.			
Nacimiento	Estado	Época	Uso
1	Con Agua	Verano	El agua es utilizada para diferentes actividades.
2	Con Agua	Verano	Sin Uso.

Tabla 4.13 Detalles de los nacimientos de agua.

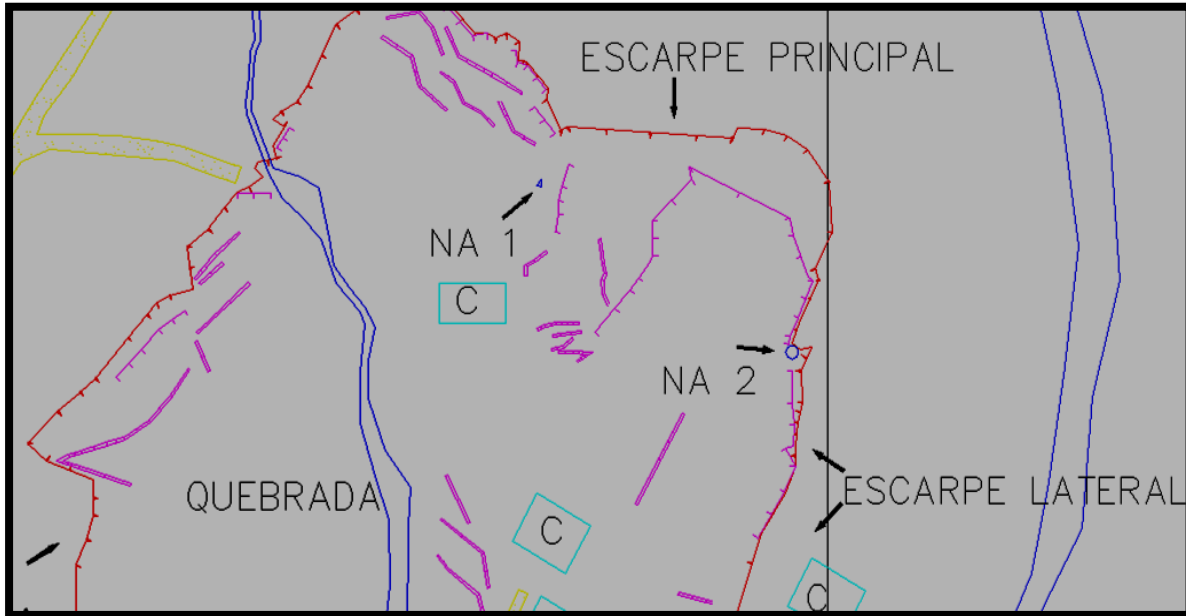


Figura 4.11 Ubicación de los nacimientos de agua NA 1 y NA 2 (este fue descubierto después que se comenzara a percibir el movimiento), cerca de los escarpes.

Postes.

Existe una línea de tendido eléctrico, que recorre parte de la zona del movimiento, la mayoría se encuentra a la orilla de las calles internas del cantón. Los postes que se encuentran dentro de la zona del movimiento de ladera, se encuentran dañados, y en estos es donde se puede identificar que ya existe el movimiento de laderas, debido al pandeo que estos tienen.



Figura 4.12 Inclinación del poste que revela el movimiento de laderas.

Puentes.

En el cantón existen dos, de los cuales solo uno se encuentra en la zona inestable, y el cual presenta serios daños en su infraestructura, se pueden ver problemas en los muros de retención adyacentes a éste y también en su cabezal, que prácticamente lo ha arrancado.



Figura 4.13 Daños en la infraestructura del puente.

Detalles geométricos del puente.	
Longitud (mts.)	Ancho (mts.)
10.91	3.69

Tabla 4.14 Detalles geométricos del puente.

Ríos.

Gualindo Arriba es un lugar muy húmedo, se han levantado topográficamente dos quebradas, estas pasan a través de la zona inestable, y sus detalles se describen a continuación.

Detalles de las quebradas que transitan por la zona inestable ²⁵ .					
Nombre	Estado	Longitud (mts.)	Pendiente (%)	Ancho (mts.)	Profundidad (mts.)
Q. Gualindo	Con Agua	1329.83	14.82	13.86	0.52
No Tiene	Seca	753.90	17.83	5.72	0.0

Tabla 4.15 Detalles de las quebradas que transitan la zona afectada de Gualindo Arriba.

²⁵ Estos datos se levantaron los días 16, 17 y 18 de Marzo del año 2011.

4.3.1.2 CURVAS DE NIVEL.²⁶

Estas fueron elaboradas por el programa Autodesk Land Desktop 2004, con la base de puntos que se realizó con la estación total, ya que estos aparte de las coordenadas de ubicación también nos brindan la elevación relativa (ya que la primera estación se le puede dar cualquier elevación).

Las curvas de nivel nos brindan información importante, acerca de cómo se visualiza la superficie y sus diferentes unidades morfológicas que posee, así como también nos ayuda a construir los perfiles por los ejes que hemos trazado. La separación mínima entre curva es de 1 metro y máxima de 5 metros. En este plano se encuentran dibujados los ejes por los cuales se dibujaran los perfiles transversales, estos se han dibujado en forma de cuadrícula para una mejor representación de la zona.

Además las curvas de nivel nos permiten trazar la dirección de la escorrentía superficial que sirve para evacuar el agua lluvia hacia la quebrada principal.

4.3.1.3 MAPA DE PENDIENTES.

En este se muestra un mapa de pendientes²⁷ con el cual se puede identificar las zonas de alta pendiente y de baja pendiente del sitio en estudio, así como también que tanto influye esta, como factor condicionante. A continuación se muestra una imagen donde se observa los porcentajes de los rangos que se han elegido para crear dicho mapa.

Rango de Pendientes				
Color	Rango Inicio	Rango Final	Porcentaje (%)	Area (m ²)
■	0.00	10.00	15.6	67030.92
■	10.00	20.00	28.9	124427.97
■	20.00	30.00	24.4	105058.06
■	30.00	40.00	14.4	61803.08
■	40.00	50.00	8.6	36943.51
■	50.00	60.00	4.1	17704.12
■	60.00	70.00	2.8	12059.53
■	70.00	80.00	0.8	3640.30
■	80.00	90.00	0.3	1099.07
■	90.00	100.00	0.2	734.78

Figura 4.14 Rango de pendientes descritas en el mapa anterior.

²⁶ Ver ANEXO 59

²⁷ Ver ANEXO 60

4.3.1.4 UBICACIÓN DE SONDEOS Y BANCOS DE MARCA.

En este plano se encuentra la ubicación de los sondeos donde se extrajeron las diferentes muestras alteradas e inalteradas, y los sondeos eléctricos verticales realizados en la prospección geofísica²⁸.

También se hallan situados una serie de bancos de marca con sus respectivas coordenadas, dos de estos, son mojones geodésicos de la red que tiene registrados el CNR²⁹ (Corobán y Punta Clarín); los otros fueron colocados por los investigadores para que en un futuro pueda ser monitoreado el movimiento de laderas que ocurre en el lugar³⁰.

Ubicación de los Sondeos			
Sondeo	Coordenada Este (mts.)	Coordenada Norte (mts.)	Elevación (mts.)
S-1	600,398.00	290,810.00	432.00
S-2	600,551.00	290,941.00	455.00
S-3	600,593.00	290,978.00	501.00
S-4	600,573.00	291,032.00	491.00
S-5	600,832.00	290,900.00	495.00
S-6	600,833.00	291,173.00	520.00
S-7	601,059.00	291,409.00	560.00

Tabla 4.16 Ubicación de los sondeos.

Ubicación de los Bancos de Marca			
Banco de Marca	Coordenada Este (mts.)	Coordenada Norte (mts.)	Elevación (mts.)
Corobán	600,557.41	289,003.41	942.00
Punta Clarín	598,746.89	294,153.72	697.00
1	600,693.00	291,346.00	533.00
2	600,571.00	291,047.00	490.00
3	601,052.00	291,242.00	551.00
4	600,821.00	290,920.00	502.00

Tabla 4.17 Ubicación de los bancos de marca.

Sondeo	Coordenada Este (mts)	Coordenada Norte (mts.)	Altura (mts.)
SEV 1	600,830.00	291,037.00	498.00
SEV 2	600,955.00	291,203.00	513.00

Tabla 4.18 Ubicación de los sondeos eléctricos verticales.

²⁸ Ver ANEXOS 63

²⁹ Centro Nacional de Registros

³⁰ Si bien es cierto, para colocar mojones geodésicos es necesario seguir un tipo de normativa, para nuestro caso particular, la ubicación de los mojones se realizó con GPS tipo navegador y en este caso se necesita un GPS tipo diferencial, primero ubicando los mojones geodésicos del CNR para determinar el error del aparato y luego conociendo ese error se tomó la lectura en cada uno de los bancos de marca.

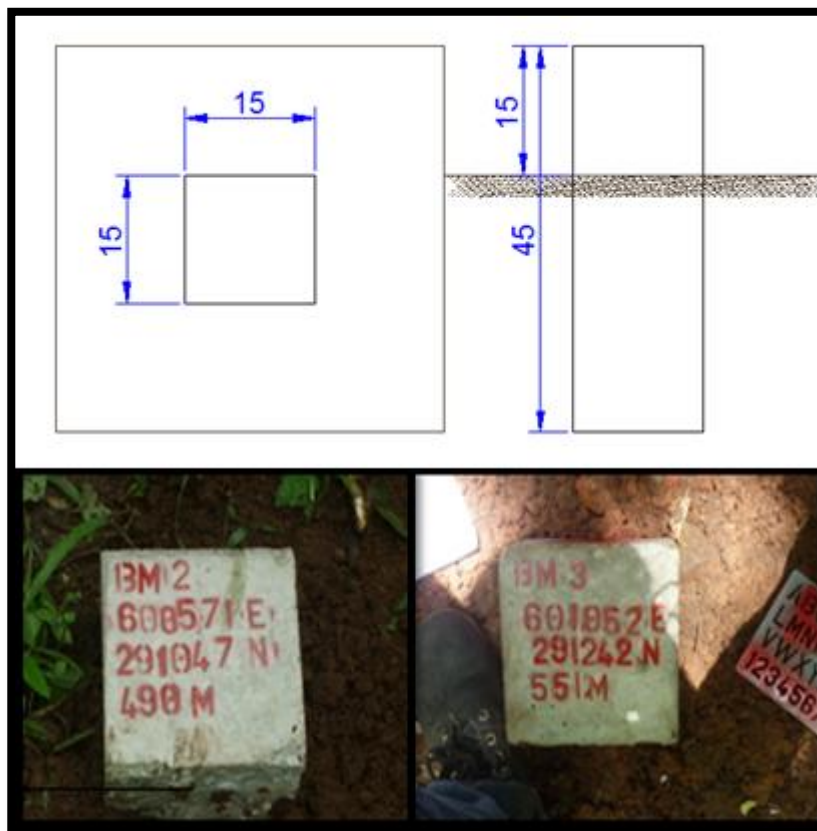


Figura 4.15 Bancos de marca colocados en la zona de estudio con sus dimensiones en cms.

4.3.1.5 PERFILES TRANSVERSALES.

Los perfiles transversales fueron elaborados en base al plano donde se encuentran las curvas de nivel, ya que en este se encuentra también los ejes por donde se dibujaron los perfiles, estos fueron elaborados en una especie de cuadrícula para una mejor caracterización.

Perfiles Longitudinales.³¹

Datos generales de los perfiles longitudinales				
Perfil	Pendiente Promedio (%)	Pendiente Máxima (%)	Pendiente Mínima (%)	Longitud (mts.)
1-1	18.91	66.85	0.65	963.66
2-2	16.33	71.70	0.05	1051.35
3-3	13.64	44.05	1.15	992.04
4-4	10.54	44.80	0.00	831.37

Tabla 4.19 Datos generales de la pendiente en los perfiles longitudinales.

³¹ Ver ANEXO 61

Perfiles a lo ancho de la zona inestable.³²

Datos generales de los perfiles laterales				
Perfil	Pendiente Promedio (%)	Pendiente Máxima (%)	Pendiente Mínima (%)	Longitud (mts.)
A-A	19.41	26.80	2.20	301.30
B-B	14.24	-42.95	0.00	424.35
C-C	10.14	30.35	0.16	387.87
D-D	17.22	44.85	0.80	369.80
E-E	17.24	-52.80	0.65	440.64
F-F	8.12	-22.60	0.25	576.50
G-G	14.79	-37.65	1.47	562.42
H-H	23.02	-59.05	1.20	354.24
I-I	4.33	-5.71	3.45	141.87

Tabla 4.20 Datos generales de la pendiente en los perfiles transversales.

Datos generales de la elevación en los perfiles.			
Perfil	Mayor Elevación (mts.)	Menor Elevación (mts.)	Diferencia de Nivel (mts.)
1-1	285.04	134.94	150.10
2-2	280.78	124.36	156.42
3-3	250.73	151.60	99.13
4-4	228.63	178.36	50.27
A-A	180.64	129.40	51.24
B-B	180.64	143.41	37.23
C-C	189.69	164.86	21.83
D-D	194.02	171.65	22.37
E-E	229.26	192.51	36.65
F-F	221.21	198.30	22.91
G-G	240.40	203.93	36.47
H-H	286.51	230.75	55.76
I-I	275.92	269.63	6.29

Tabla 4.21 Datos generales de la elevación en los perfiles.

4.3.1.6 MAPA MORFOLOGICO.

Este plano contiene las diferentes unidades morfológicas que se han identificado en la zona de la ladera afectada.³³

³² Ver ANEXO 62

Unidad A: conformada por el cauce de la quebrada y sus escarpes. Esta unidad se encuentra con un activo proceso de erosión fluvial, socavando las márgenes del cauce, provocando la caída de material hacia el lecho del río, se caracteriza por su fuerte pendiente sujeta a deslizamientos continuos. Esta se desarrolla desde el lugar donde nace la quebrada Gualindo por una longitud de 1,321.26 mts., con fuertes pendientes en los escarpes que se encuentran en la orilla de la quebrada.

Unidad B: conformada por el sector semiplano NE, la cual tiene una pendiente moderada, con un porcentaje de pendiente promedio de 10% y 20%, la superficie de esta unidad está cubierta por vegetación, tipo cultivo de maíz y otros. En esta unidad es donde se están generando los procesos de movimiento de tierra, al menos los que son más perceptibles como grietas y escarpes secundarios y además es donde se encuentran ubicadas la mayoría de casas dañadas por el movimiento de laderas.



Figura 4.16 Parte de la zona morfológica B.

Unidad C: conformada por el sector de pendiente alta, se describe como el sector de las lomas ó cerros en donde se encuentra la mayor pendiente y se caracteriza por ser una zona de recarga hídrica, por la morfología y materiales que la conforman (material más consolidado). En esta unidad morfológica se encuentra desarrollado el escarpe principal.

³³ Ver ANEXO 64



Figura 4.17 Zona de alta pendiente.

Unidad D: conformada por el sector de ladera lateral, reconocidas como el sector desprendimiento, conformando un desnivel entre los dos bloques. El escarpe lateral izquierdo se encuentra más desarrollado en desnivel de altura que el derecho, sin embargo, los dos se pueden notar fácilmente.

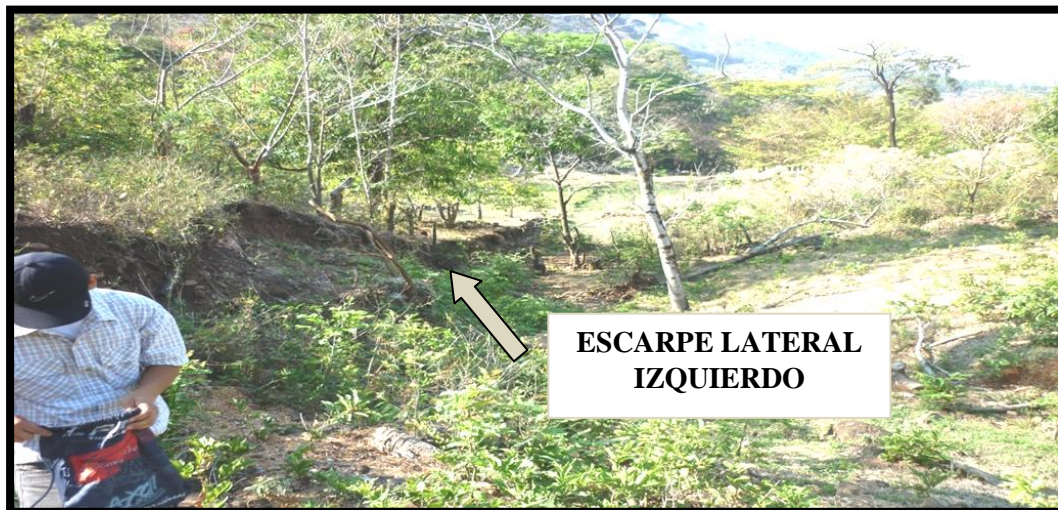


Figura 4.18 Desarrollo del escarpe lateral izquierdo.

Unidad Morfológica	Área (m ²)	Tipo de Suelo ³⁴	Rango de Inclinación (°)
A	27,149.83	Arenas y Limos	45-84
B	87,942.77	Arcillas	0-16
C	20,336.91	Arcillas y Limos	20-31
D	4,664.48	Arcillas y Limos	45-70

Tabla 4.22 Algunos detalles de las diferentes unidades morfológicas.

4.3.1.7 USO DE SUELOS.

El mapa donde se describe el uso del suelo del lugar³⁵, está dividido en dos planos el primero describe el uso del suelo en la zona inestable, y el segundo describe la parte que está afuera de los límites del movimiento de ladera³⁶.

Uso del suelo dentro de la ladera afectada		
Usos	Área (m ²)	% Área de Ladera ³⁷
Zona cubierta de árboles	18,595.35	15.05
Zona de cultivos	618.64	0.50
Zona cubierta por pastos para ganados	84,793.39	68.65

Tabla 4.23 Uso del suelo dentro de la zona inestable.

Uso del suelo fuera de la ladera afectada ³⁸	
Usos	Área (m ²)
Zona cubierta de árboles	132,916.27
Zona de cultivos	4,657.09
Zona cubierta por pastos para ganados	170,929.46

Tabla 4.24 Uso del suelo fuera de la zona inestable.

Zona cubierta de árboles: En ella se encuentran diferentes clases de arboles como por ejemplo: Teca, Aceituna, Ceiba, Carao, Mango, Laurel, Bambú, etc. Estos son los más representativos debido a su altura que en promedio es de 20-30 mts, y su diámetro varia de 25-75 cms. Estas zonas abarcan la parte oeste de la zona inestable y la parte este fuera de los límites del movimiento. La orilla del cauce de la quebrada Gualindo también se

³⁴ Estos se obtuvieron por inspección visual-manual, los resultados completos se encuentran en un apartado posterior.

³⁵ Ver ANEXO 65.

³⁶ Ver ANEXO 66.

³⁷ Se refiere al porcentaje que representa del área total afectada.

³⁸ Cuando se dice que está afuera de la zona inestable se refiere a un levantamiento de información más allá de los límites del movimiento una distancia de ±100 mts. En unos casos más.

encuentra poblada por muchos árboles debido a la presencia de agua ya sea superficial o subterránea. También existen una gran cantidad de matorrales en todas las franjas donde hay presencia de árboles, de estos semi-bosques no se obtiene ningún provecho económico.

Zona de cultivos: el porcentaje de los cultivos que se encuentran dentro de la zona inestable en comparación con el área afectada solo es del 0.5%, y las área que se midieron fuera de los límites son de 4,657.09 m², esto indica que poco se cultiva en la zona, las plantaciones que se encontraron fueron los siguientes: Maíz, Bananos, Ayote y Sorgo. Según los pobladores del lugar, esto se debe a que genera incertidumbre cultivar en la ladera donde se presentan problemas, ya que antes sí se cultivaba en ese lugar.

Zona cubierta por pasto para ganado: esta es la mayor importancia que se le da al suelo de la zona, solo en la ladera afectada el porcentaje de área con respecto al área total es de 68.65%, y el área levantada fuera de los límites de la zona inestable es de 170,929.46 m², mucho de este pasto se crece bastante en época lluviosa debido a que no todas las personas poseen animales de pastoreo.



Figura 4.19 Zonas donde crece pasto para alimentación del ganado y zona donde hay árboles de teca.

4.4 ESTUDIO GEOTECNICO.

Una vez hecho el levantamiento topográfico y habiéndolo plasmado gráficamente en planos (planimetría, curvas de nivel, etc.), es posible comenzar con el estudio geotécnico y así obtener los diferentes parámetros que necesitamos obtener del material que contiene la ladera en estudio.

Dentro de la metodología para recolección de datos (capítulo 3) de un estudio geotécnico, se enumeraron 5 pasos esenciales:

- Reconocimiento de áreas inestables y deslizamientos
- Sondeos
- Muestreo
- Ensayos
- Presentación de resultados.

4.4.1 RECONOCIMIENTO DE AREAS INESTABLES Y DESLIZAMIENTOS.

Durante el mes de marzo de 2011, se planificaron visitas de campo con el fin de identificar los límites del movimiento y así hacernos una idea más clara de lo ocurrido en la zona de estudio. Con la visita del 08 de marzo de 2011 se pudieron identificar, además de las posibles estaciones para el levantamiento topográfico, se pudieron ver claramente los escarpes, afloramientos de roca, grietas, la infraestructura dañada, etc.



Figura 4.20 Escarpe Izquierdo.



Figura 4.21 Grietas parte del escarpe principal.



Figura 4.22 Inclinación de postes de luz.



Figura 4.23 Piso dañado de una casa.



Figura 4.24 Puente dañado por deslizamiento.

La inclinación de postes nos dan la idea de un posible movimiento de reptación, no obstante, los escarpes y grietas ubicados en la parte más alta de la ladera no son más, que efecto de un deslizamiento de masa, específicamente un deslizamiento de tipo rotacional.

4.4.2 SONDEOS.

Los sondeos para la extracción de muestras se realizaron a través de calicatas (pozos a cielo abierto), debido a que nos permite tener un contacto más directo con el suelo y poder extraer muestras alteradas e inalteradas en una sola visita.

La ubicación de los sondeos se hizo a través del método sugerido por Jaime Suarez en su libro *Deslizamientos: Análisis Geotécnico*, el cual dice que para zonas donde existe movimiento activo o en reposo, se debe trazar un eje a lo largo de todo el movimiento y así ubicar los sondeos a lo largo de éste, dentro y fuera del movimiento.

Ya habiendo finalizado la parte de planimetría del estudio topográfico, se ubicaron los sondeos de la siguiente manera:

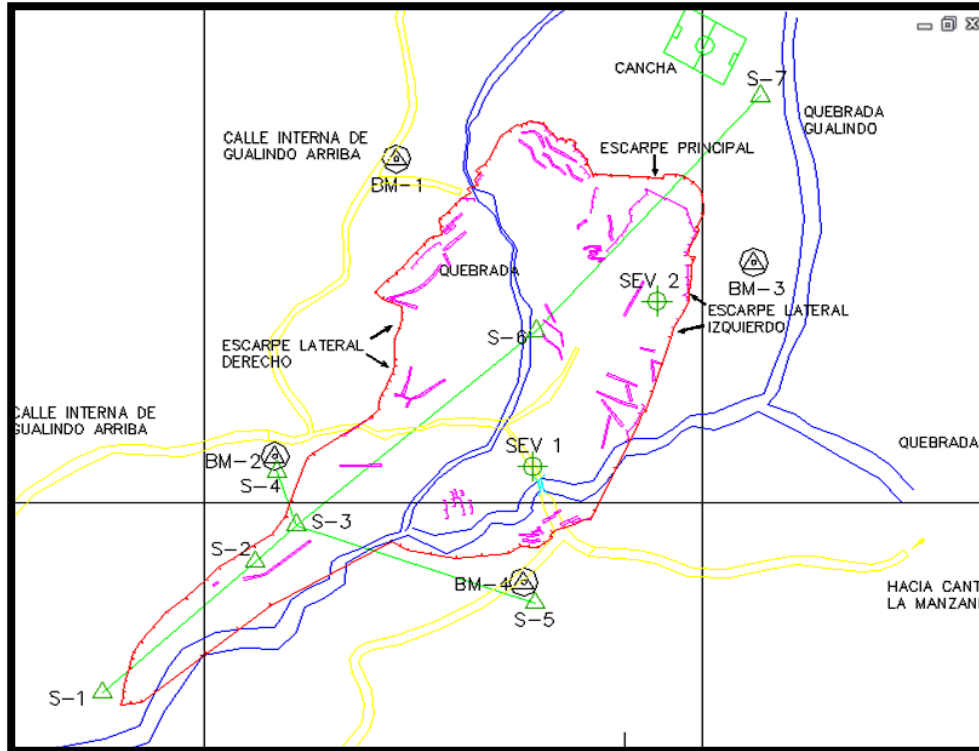


Figura 4.25 Ubicación de los sondeos.

CUADRO DE SIMBOLOGIA	
CLAVE	DESCRIPCION
	ESCARPES LATERALES Y PRINCIPAL
	ESCARPES SECUNDARIOS
	GRIETAS
	BANCOS DE MARCA
	S-"N": SONDEO GEOTECNICO NUMERO "N"
	SEV "N": SONDEO ELECTRICO VERTICAL NUMERO "N"

Figura 4.26 Simbología utilizada para la ubicación de sondeos.

El primer sondeo ubicado en la base y fuera del movimiento, el sondeo dos, tres y seis, se ubicaron siguiendo un eje imaginario dentro de todo el movimiento, el sondeo cuatro se ubicó fuera del flanco oeste y de manera inversa el sondeo cinco fuera del flanco este, tanto el sondeo cuatro y cinco se ubicaron siguiendo un eje imaginario a partir del sondeo tres, por último el sondeo siete se ubicó en la parte de la corona del movimiento.

La ubicación exacta de los sondeos se culminó el día de la extracción de muestras, con la ayuda de un G.P.S. (sistema de posicionamiento global), tratando de ubicarlos en zonas donde no se interfiriera con los asentamientos humanos y fuera cómoda la extracción de muestras.

En este orden de ideas, las coordenadas de los sondeos son las siguientes:

Ubicación de los sondeos			
Sondeo	Coordenada Este (mts.)	Coordenada Norte (mts.)	Elevación (mts.)
S-1	600,398.00	290,810.00	432.00
S-2	600,551.00	290,941.00	455.00
S-3	600,593.00	290,978.00	501.00
S-4	600,573.00	291,032.00	491.00
S-5	600,832.00	290,900.00	495.00
S-6	600,833.00	291,173.00	520.00
S-7	601,059.00	291,409.00	560.00

Tabla 4.25 Coordenadas de los sondeos.

4.4.3 MUESTREO.

El muestreo se realizó de manera alterada e inalterada³⁹, ambas extraídas directamente de las calicatas, durante la época seca de Abril 2011.

La extracción de las muestras inalteradas se realizó en un período de dos días, 11 y 12 de Abril 2011, de las cuales debido a los materiales que se encuentran en el lugar, que son en su mayoría suelos sueltos compuestos por cantos y bloques, resultó muy difícil extraer el queso en la zona donde está ubicado el sondeo 7.

³⁹Procedimiento de extracción de muestras según “Mecánica de suelos y cimentaciones, Crespo Villalaz”.



Figura 4.27 Presencia de Cantos en el interior del terreno y desmoronamiento de muestra.



Figura 4.28 Cantos extraídos en zona de sondeo 7.

Figura 4.29 Estado del sondeo 7.

De esto, podemos decir que solamente se extrajeron 6 muestras inalteradas y 7 muestras alteradas.



Figura 4.30 Almacenamiento de muestras alteradas e inalteradas.

4.4.4 ENSAYOS.

Los ensayos realizados se dividieron en dos grupos: Ensayos de campo y ensayos de laboratorio.

La elección de dichos ensayos se llevó a cabo tomando en cuenta los siguientes factores:

- Las facilidades con las que cuenta el laboratorio de suelos y materiales de la Universidad De El Salvador, tanto en el Campus Oriental como en el Campus Central.
- Los factores condicionantes y desencadenantes de los movimientos de Laderas.
- El manual de Análisis Geotécnico para Deslizamientos del Ing. Jaime Suarez.

4.4.4.1 ENSAYOS DE CAMPO.

Dentro del marco de identificación de movimientos de laderas, es necesario, para tener un modelo más completo y caracterizarlo de manera más precisa, ensayos de campo que nos permitan medir la superficie de falla, propiedades físicas del terreno, determinaciones geológicas, etc.

Para esto se realizó con la ayuda del departamento de Ciencias de la Tierra de la Escuela de Física de la Universidad de El Salvador Campus Central un ensayo geofísico, ya que éste tipo de ensayos son generalmente la forma más rápida y económica, de obtener información sobre las características de los perfiles del subsuelo⁴⁰.

El ensayo se realizó el 04 de septiembre de 2011 a cargo del Lic. Tomás Soriano (Geofísico) y el Lic. Guillermo Morán (Geólogo), el tipo de ensayo que se ejecutó fue un sondeo eléctrico vertical de Schlumberger a dos puntos de la ladera.

El objetivo principal de realizar éste ensayo es determinar la profundidad de la superficie de falla, pero el Lic. Tomás Soriano asevera que éste proceso conlleva a realizar como mínimo 10 sondeos de tipo calicatas eléctricas lo que significaría por lo menos una semana de trabajo y el presupuesto designado para ésta actividad no cubre la magnitud que exige.

⁴⁰Deslizamientos: Análisis Geotécnico. Cap. 11, pág. 482.

Sondeo eléctrico vertical.

El Sondeo Eléctrico Vertical intenta distinguir o conocer las formaciones geológicas que se encuentran en profundidades mediante algún parámetro físico, este método es muy antiguo pero se sigue utilizando debido a su sencillez y la relativa economía del equipo necesario. Su principal finalidad es averiguar la distribución vertical en profundidad de las resistividades aparentes bajo el punto sondeado a partir de medidas de la diferencia de potencial en la superficie.

Para estos estudios se apoya de dispositivos electrónicos tales como los de Wenner y Schlumberger, éste último es más utilizado debido a las ventajas que presenta.

La profundidad de penetración de la corriente eléctrica depende de la separación de los electrodos inyectores AB. Si la distancia entre los electrodos AB aumenta, la corriente circula a mayor profundidad pero su densidad disminuye. Por medio de este estudio se conoce la forma, la composición y las dimensiones de las estructuras que se encuentran en el subsuelo a partir de la superficie terrestre. La profundidad de investigación ha sido considerada sinónimo de la profundidad de penetración de la corriente, sin embargo, el efecto de una capa en los potenciales o campos observados en superficie no dependen únicamente de la densidad de corriente que la atraviesa.

Sondeo Schlumberger.

Dado el dispositivo Schlumberger AMNB con $AB \gg MN$, el sondeo consiste en separar progresivamente los electrodos inyectores A y B dejando los electrodos detectores M y N fijos en torno a un punto central fijo P. La representación de este sondeo muestra en ordenadas la resistividad aparente ρ_a ($\Omega \cdot m$) y en abscisas la distancia $AB/2$ (m). En este sondeo el efecto de las heterogeneidades irrelevantes es menor pues sólo se mueven el par de electrodos inyectores A y B.

Con los valores de potencial y corriente medidos y la expresión correspondiente a la configuración utilizada, se grafica una curva de resistividad aparente en función de la separación de los electrodos.

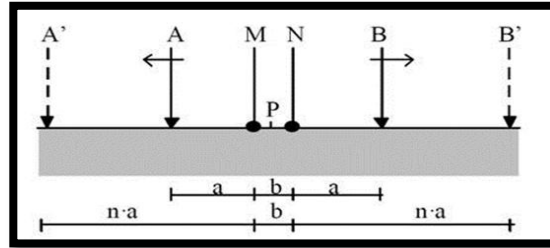


Figura 4.31 Colocación de electrodos para el sondeo Schlumberger.

Resultados de campo de la prospección Geofísica.

Recolección de datos de campo en ensayo geofísico.						
Operador :	Tomás Soriano	Fecha :	04/09/2011			
Aparato :	Saris Scintrex	Hora :	09:00 a.m			
Datum :	498 m.s.n.m. \pm 3 m.	N° del sondeo:	1			
Azimut:	-	N° del perfil :	-			
Lugar :	Gualindo Arriba, Lolotiquillo, Morazán.	Longitud:	600830 m			
		Latitud:	291037 m			
AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	$\Delta V / I$	$\rho_a (\Omega \cdot m)$	SP	SD
1	0.3	4.76	3.19	15.170	0	0
1.5	0.3	11.31	1.56	17.670	0	0
2	0.3	20.47	0.94	19.270	100	0
3	0.3	46.66	0.47	21.730	0	0
4	0.3	83.3	0.28	23.340	97	0
4	1	23.56	0.74	17.370	58	0
5	1	37.7	0.46	17.490	58	0
7	1	75.4	0.20	14.860	56	0
10	1	155.51	0.11	17.020	56	0
15	1	351.86	0.05	17.720	56	0
15	2.5	137.44	0.11	15.450	-4	0
20	2.5	247.4	0.05	13.550	-29	0
30	2.5	561.56	0.02	11.600	-36	0
40	2.5	1001.38	0.01	11.570	-39	0
50	2.5	1566.87	0.01	11.760	-39	0
50	10	376.99	0.03	11.190	-36	0
70	10	753.98	0.01	10.980	-36	0

Tabla 4.26 Resultados de campo en sondeo geofísico 1.

Recolección de datos de campo en ensayo geofísico.						
Operador :	Tomás Soriano		Fecha :	04/09/2011		
Aparato :	Saris Scintrex		Hora :	11:30 a.m.		
Datum :	513 m.s.n.m. ± 3 m		Nº del sondeo:	2		
Azimut:	130°		Nº del perfil :	-		
Lugar :	Gualindo Arriba, Lolutiquillo, Morazán.		Longitud:	600955 m		
			Latitud:	291203 m		
AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	$\Delta V / I$	ρ_a ($\Omega \cdot m$)	SP	SD
1	0.3	4.76	4.17	19.850	10	0
1.5	0.3	11.31	2.51	28.370	2	0
2	0.3	20.47	0.76	15.530	0	0
3	0.3	46.66	0.35	16.350	0	0
4	0.3	83.3	0.20	16.950	0	0
4	1	23.56	0.55	12.970	0	0
5	1	37.7	0.33	12.260	0	0
7	1	75.4	0.16	11.810	-65	0
10	1	155.51	0.09	14.050	-70	0
15	1	351.86	0.05	16.590	-73	0
15	2.5	137.44	0.15	20.700	92	0
20	2.5	247.4	0.09	21.740	39	0
30	2.5	561.56	0.03	16.670	34	0
40	2.5	1001.38	0.01	11.290	34	0
50	2.5	1566.87	0.00	7.775	29	0
50	10	376.99	0.02	6.564	17	0
70	10	753.98	0.01	6.220	24	0

Tabla 4.27 Resultados de campo en sondeo geofísico 2.



Figura 4.32 Equipo de medición Saris Scintrex.



Figura 4.33 Colocación de electrodos.

Se realizaron 2 sondeos de 70 metros cada uno⁴¹, con los resultados de las lecturas del equipo geofísico, se realizaron las curvas de resistividad aparente con la ayuda del software QwseIn.

Los resultados se presentan en un gráfico logarítmico: en abscisas la distancia AB/2 de cada medida, y en ordenadas la resistividad aparente de cada punto. Esta curva es la que vamos a interpretar para conseguir los espesores y resistividades de las formaciones geológicas de la zona en que hemos realizado el Sondeo Eléctrico Vertical.

Probablemente una de las etapas más difíciles en la determinación de resistividades de terreno es la interpretación adecuada de las medidas de campo. Conjuntamente con los métodos de medida, se dispone de diversos métodos de interpretación en su mayoría empíricos, todos los cuales suponen la existencia de estratos paralelos; así, tenemos:

- Método de los quiebres de curvas de resistividad.
- Método de curvas de patrón.

Para nuestro caso particular, se utilizó el método de los quiebres de curvas de resistividad, ya que de ambos métodos, éste lo consideramos de mayor simplicidad.

En general, las curvas de resistividad aparente se aproximan en forma asintótica a los valores de resistividad de la primera y última capa. El número de capas o estratos a que puede asimilarse el terreno se determina por el número de puntos de inflexión que posee la curva de resistividad aparente, aumentado en uno. A continuación se muestran las diferentes combinaciones para sistemas de dos y tres capas.

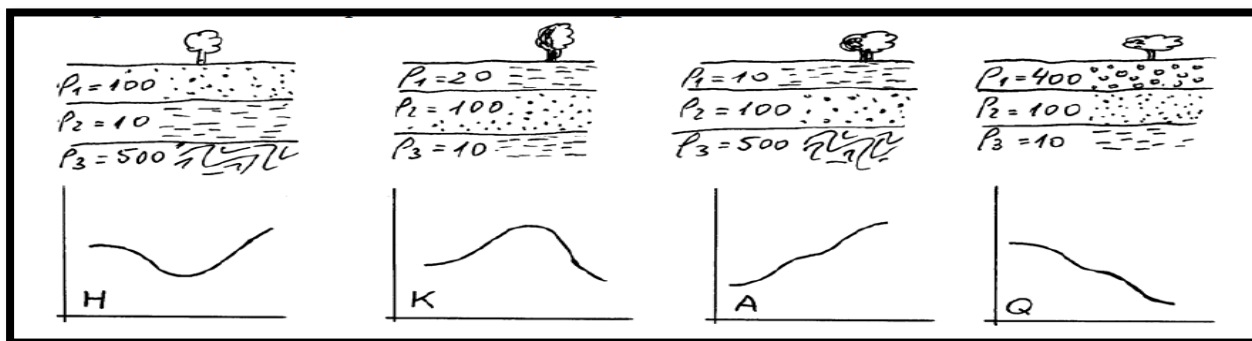


Figura. 4.34 Método de los quiebres de curvas de resistividad.

⁴¹ Ver ANEXO 63

Cuando el subsuelo se compone de tres capas, se admiten cuatro posibilidades:

- Tipo H. La segunda es la menos resistiva de las tres, es decir: $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$.
- Tipo K. La segunda es la más resistiva de las tres, es decir: $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$.
- Tipo A. La resistividad va aumentando con la profundidad, es decir: $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$.
- Tipo Q. La resistividad va disminuyendo con la profundidad, es decir: $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$.

En el caso que existieran cuatro capas o más, la curva se descompone en intervalo de 3 en 3, dándole la nomenclatura a cada tramo de 3.

A continuación se presentan los gráficos logarítmicos obtenidos de introducir los datos obtenidos en campo para los 2 sondeos eléctricos verticales en el software Qwseln.

Sondeo 1.

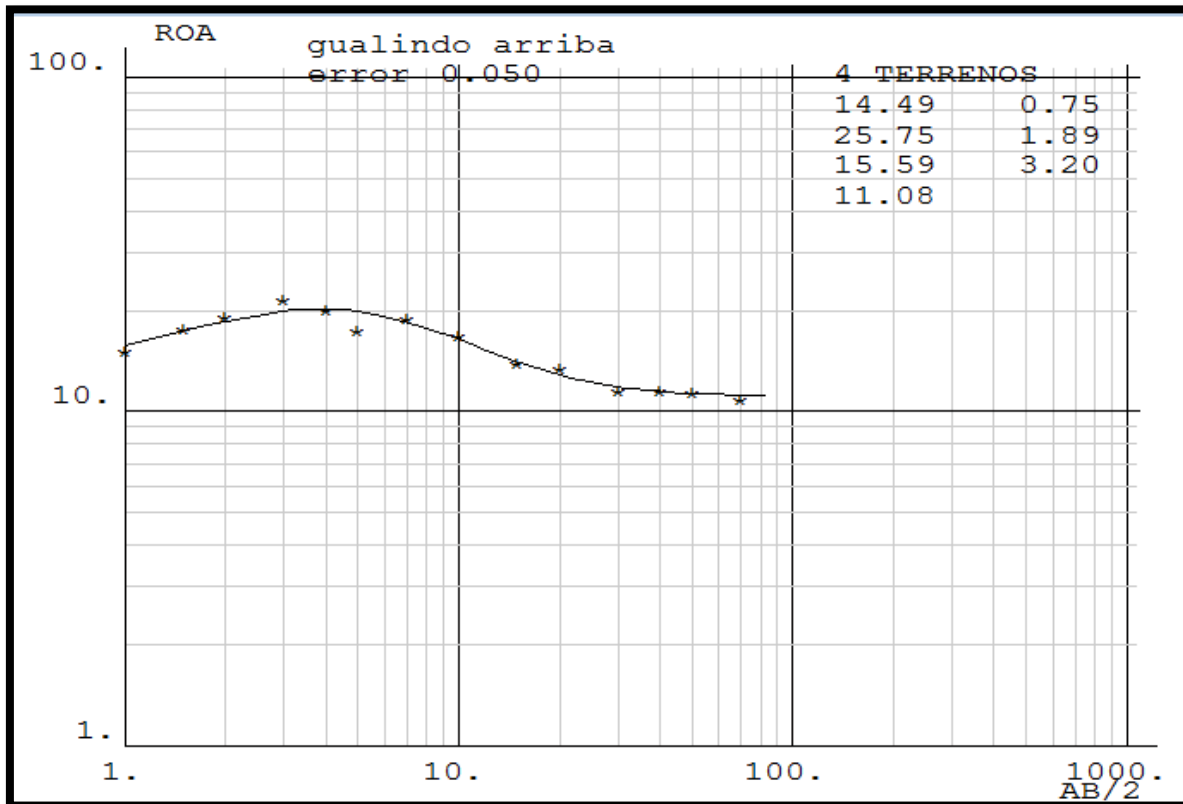


Figura 4.35 Curva de Resistividad Aparente sondeo 1.

Esta curva presenta en la parte superior derecha 4 terrenos que traducido del francés significa 4 capas o 4 estratos con sus respectivas resistividades (izquierda) y espesores (derecha) de las cuales se conoce solo el espesor de 3, la cuarta capa se considera con espesor infinito, lo que se puede expresar a través de la siguiente manera:

Datos calculados del sondeo geofísico		
Número de capa	Resistividad ($\Omega \cdot m$)	Espesor (m.)
1	14.49	0.75
2	25.75	1.89
3	15.59	3.20
4	11.08	∞

Tabla 4.28 Datos de espesor y resistividad en sondeo geofísico 1.

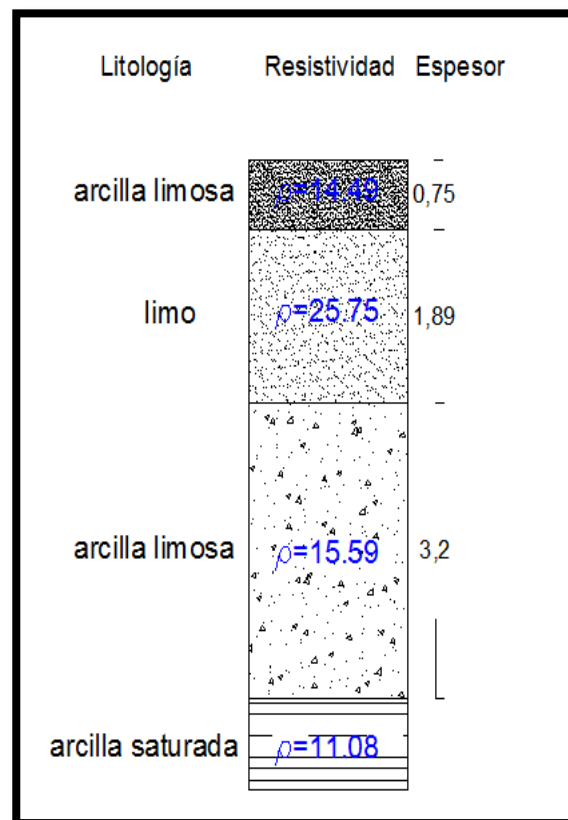


Figura 4.36 Perfil estratigráfico obtenido del SEV1.

Sondeo 2.

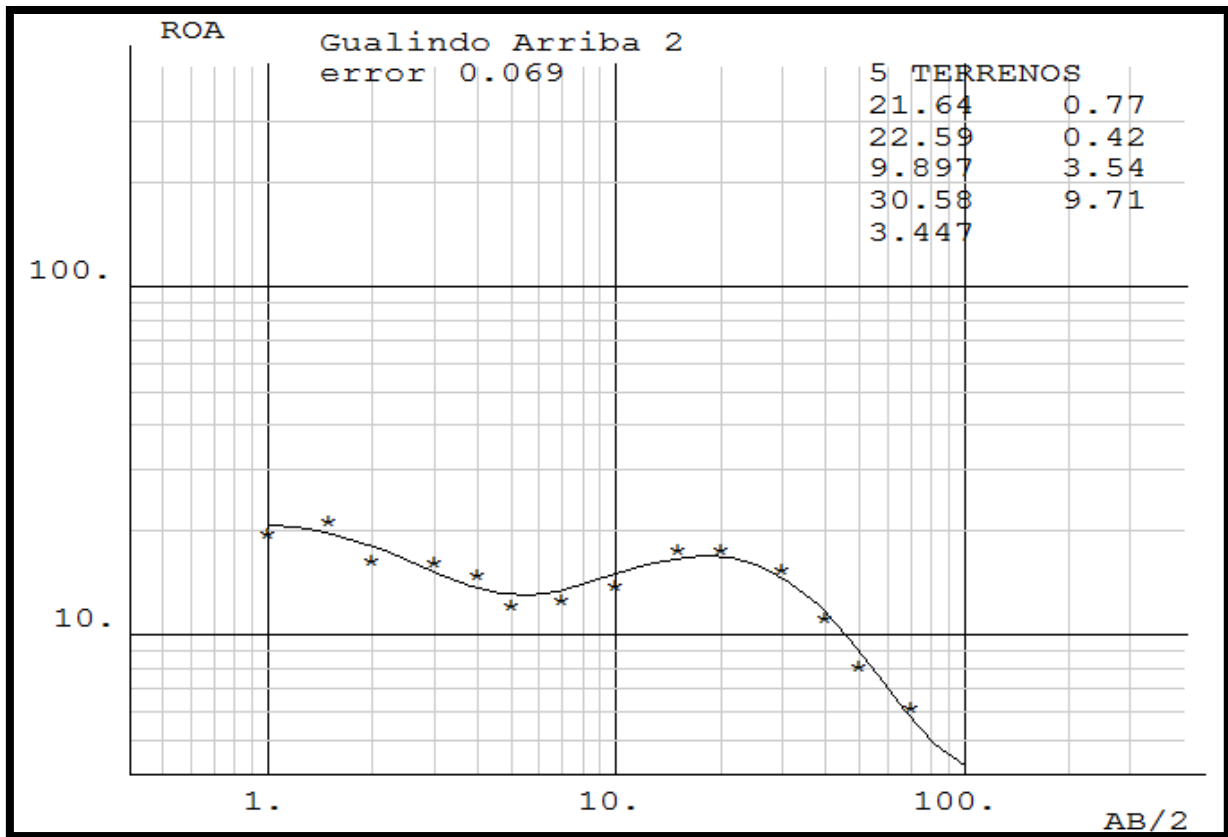


Figura 4.37 Curva de Resistividad Aparente sondeo 2.

Esta curva presenta 5 capas, de las cuales se conoce solo el espesor de 4, la quinta capa se considera con espesor infinita, de la siguiente manera:

Datos calculados del sondeo geofísico		
Número de capa	Resistividad ($\Omega \cdot m$)	Espesor (m.)
1	21.64	0.77
2	22.59	0.42
3	9.89	3.54
4	30.58	9.71
5	3.44	∞

Tabla 4.29 Datos de espesor y resistividad en sondeo geofísico 2.

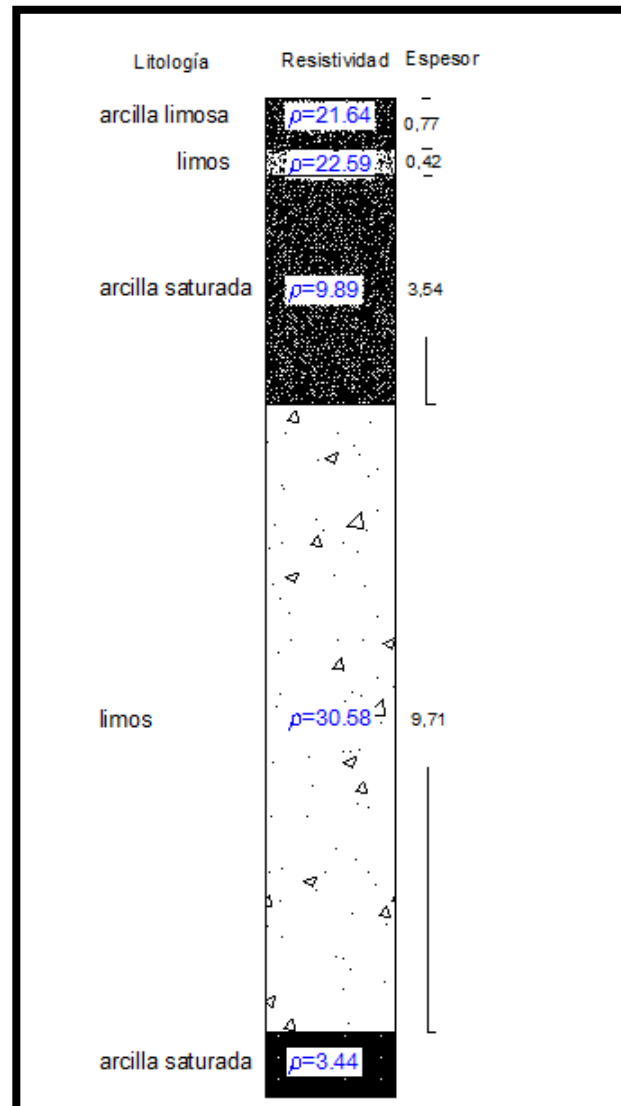


Figura 4.38 Perfil estratigráfico obtenido del SEV2.

4.4.4.2 ENSAYOS DE LABORATORIO.

En movimientos de laderas los factores condicionantes son accionados por las propiedades físicas del suelo, lo cual nos llevó a realizar los siguientes ensayos:

- Práctica para la descripción e identificación de suelos (procedimiento visual-manual) (ASTM D 2488).
- Determinación del contenido de agua (humedad) de un suelo en el laboratorio, por masa (ASTM D 2216).

- Determinación del tamaño de las partículas de suelos (ASTM D 422).
- Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos (ASTM D 4318).
- Determinación de la gravedad específica de los sólidos del suelo por el método del picnómetro con agua (ASTM D 854).

Los factores desencadenantes son accionados por las propiedades mecánicas del suelo, para lo cual se realizaron los siguientes ensayos:

- Ensayo de compresión Triaxial (ASTM D 2850).
- Ensayo de corte directo (ASTM D 3080).

Resultados de los Ensayos de laboratorio.

Con las muestras alteradas se llevaron a cabo los ensayos para determinar las propiedades físicas del suelo, a excepción del ensayo de Gravedad Específica, el cual se realizó a partir de las muestras inalteradas; de igual manera los ensayos para determinar las propiedades mecánicas del suelo se realizaron a las muestras inalteradas.

Ensayos de laboratorio a muestras alteradas.

Los ensayos que fueron realizados a partir de muestras alteradas se realizaron en el Laboratorio de suelos y materiales de la Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria Oriental durante el período del 18 al 27 de mayo de 2011.

Los datos de estos ensayos así como los parámetros que fueron evaluados están en la sección de ANEXOS (1-9). A continuación se presentan los resultados de los ensayos realizados a muestras alteradas.

**Práctica para la descripción e identificación de suelos (procedimiento visual-manual)
(ASTM D 2488).**

Este ensayo se realizó con el objetivo de efectuar pruebas sencillas a cada uno de los sondeos y así dar un diagnóstico rápido de la clasificación del suelo en la ladera.

Cabe mencionar que este es un método preliminar de clasificación de suelos, los datos obtenidos serán corroborados o descartados con los ensayos posteriores.

Sondeo	Descripción	Clasificación
1	Presencia de gravas, suelo en estado seco mal drenado con presencia de hierro hidratado.	CH
2	Presencia de gravas duras, suelo en estado seco con alto contenido de orgánicos.	MH/CH
3	Material fino en estado seco con bajo contenido de óxidos de hierro.	CH
4	Presencia de gravas frágiles, suelo en estado seco con contenido de óxidos de hierro.	CH
5	Material fino, suelo en estado húmedo con alto contenido de materia orgánica.	MH
6	Presencia de partículas frágiles de la forma de chispa, piedra volcánica, suelo en estado húmedo con bajo contenido de óxidos de hierro.	CH
7	Presencia de cantos rodados, material fino en estado húmedo con alto contenido de materia orgánica.	CL/CH

Tabla 4.30 Resultados práctica descripción visual-manual.



Figura 4.39 Determinación de Dilatancia en suelos finos y determinación de forma y tamaño de partículas.



Figura 4.40 Ensayo para determinación de Resistencia en seco en suelos finos.

Determinación del contenido de agua (humedad) de un suelo en el laboratorio, por masa (ASTM D 2216).

El agua es el factor que más comúnmente es asociado a los deslizamientos de laderas, Gualindo Arriba no es ninguna excepción, los siguientes resultados muestran el contenido de humedad en época de verano (Abril 2011).

Sondeo	Agua (gr.)	Suelo seco (gr.)	Contenido de Humedad
1	5.00	40.00	12.50%
2	5.00	35.00	14.29%
3	5.00	45.00	11.11%
4	10.00	35.00	28.57%
5	10.00	40.00	25.00%
6	15.00	40.00	37.50%
7	10.00	40.00	25.00%

Tabla 4.31 Resultados Ensayo de determinación de Contenido de Humedad.



Figura 4.41 Horno para secado de muestras Facultad Multidisciplinaria Oriental.

Determinación del tamaño de partículas de suelos (ASTM D 422).

Las características del tamaño de las partículas de un suelo, tienen gran importancia en su comportamiento mecánico, e influyen considerablemente en la compactación de los suelos. El ensayo para determinar el tamaño de las partículas, mejor conocido como Granulometría, fue realizado en base a 4 pasos de acuerdo al método de análisis granulométrico combinado⁴².

⁴²Blanco, Mario Alexander. Caracterización y análisis de estabilidad de taludes adenaños a los centros escolares del cantón San Julián y Joya de Ventura del municipio de San Jorge, Departamento de San Miguel.

Sondeo 1.

1. Separación de material con malla N°4.

Material ensayado (gr)	1500.00
------------------------	---------

Malla N°	Abertura (mm)	Peso de tamiz	Material retenido + malla (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido
4	4.76	441.15	676.46	235.31	15.69%
Fondo		503.75	1768.44	1264.69	84.31%
Σ				1500.00	100.00%

% Retenido	15.69%
% Que pasa	84.31%

2. Graduación de material retenido en malla N°4.

Material ensayado (gr)	235.31
------------------------	--------

Malla N°	Abertura (mm)	Peso del tamiz (gr)	Peso retenido + malla (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa la malla
1''	25.4	455.00	456.27	1.27	0.54	0.54	99.46
3/4 ''	19.5	487.60	488.87	1.27	0.54	1.08	98.92
1/2''	12.7	465.05	479.87	14.82	6.30	7.38	92.62
4	4.76	441.15	643.88	202.73	86.16	93.54	6.46
Fondo		503.75	518.97	15.22	6.47	100.00	0.00
Σ				235.32	100.00		

3. Lavado malla N°200.

Material ensayado	Malla N°	Abertura (mm)	Peso malla (gr)	W tara (gr)	Whúmedo + tara (gr)	Wseco + tara (gr)
500	200	0.075	1168.20	224.40	417.60	399.70

% que pasa la malla N°200	64.94%
---------------------------	--------

4. Graduación de material retenido en malla N°200.

Material ensayado (gr)	175.3
------------------------	-------

Malla N°	Abertura (mm)	Peso tamiz (gr)	Material retenido + malla (gr)	Peso material retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa la malla
4	4.76	441.15	441.15	0.00	0.00	0.00	100.00
8	2.36	416.00	430.44	14.44	8.24	8.24	91.76
16	1.18	350.95	360.07	9.12	5.20	13.44	86.56
30	0.59	338.95	358.37	19.42	11.08	24.52	75.48
50	0.3	293.45	353.87	60.42	34.47	58.98	41.02
100	0.15	278.75	326.47	47.72	27.22	86.20	13.80
200	0.075	270.60	293.97	23.37	13.33	99.53	0.47
Fondo		503.75	504.57	0.82	0.47	100.00	0.00
Σ				175.30	100.00		

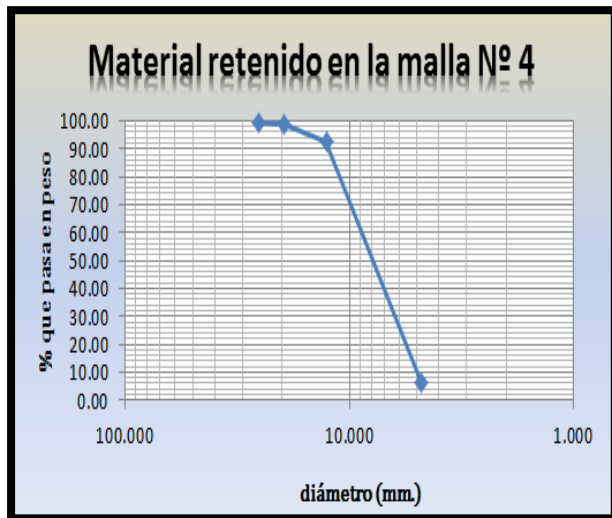


Figura 4.42 Curva Granulométrica 1 Sondeo 1

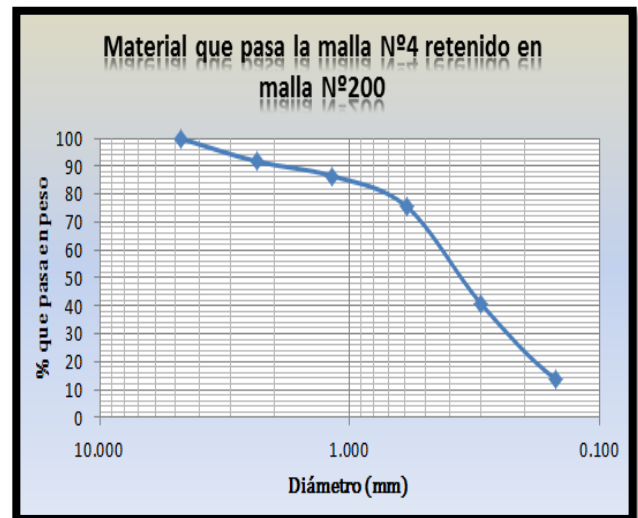


Figura 4.43 Curva Granulométrica 2 sondeo 1

Sondeo 2.

1. Separación de material con malla N°4.

Material ensayado (gr)	1500.00
------------------------	---------

Malla N°	Abertura (mm)	Peso de tamiz	Material retenido + malla (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido
	4.76	441.15	732.63	291.48	19.43%
Fondo		503.75	1712.28	1208.53	80.57%
Σ				1500.00	100.00%

% Retenido	19.43%
% Que pasa	80.57%

2. Graduación de material retenido en malla N°4.

Material ensayado (gr)	291.48
------------------------	--------

Malla N°	Abertura (mm)	Peso del tamiz (gr)	Peso retenido + malla (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa la malla
1''	25.4	455.00	455.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4 ''	19.5	487.60	487.60	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2''	12.7	465.60	471.83	6.23	2.14	2.14	97.86
4	4.76	441.15	715.03	273.88	93.96	96.10	3.90
Fondo		503.75	515.12	11.37	3.90	100.00	0.00
Σ				291.48	100.00		

3. Lavado malla N°200.

Material ensayado (gr)	Malla n°	Abertura (mm)	Peso malla (gr)	W tara (gr)	Whúmedo + tara (gr)	Wseco + tara (gr)
500	200	0.075	1168.20	93.00	286.20	218.70

% que pasa la malla N°200	74.86%
---------------------------	--------

4. Graduación de material retenido en malla N°200.

Material ensayado (gr)	125.70
------------------------	--------

Malla n°	Abertura (mm)	Peso tamiz (gr)	Material retenido + malla (gr)	Peso material retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa la malla
4	4.76	441.30	441.30	0.00	0.00	0.00	100.00
8	2.36	416.20	435.36	19.16	15.24	15.24	84.76
16	1.18	351.10	363.17	12.07	9.60	24.84	75.16
30	0.59	339.13	349.29	10.16	8.08	32.92	67.08
50	0.3	293.51	311.26	17.75	14.12	47.04	52.96
100	0.15	278.80	311.81	33.01	26.26	73.29	26.71
200	0.075	270.40	301.81	31.41	24.99	98.28	1.72
fondo		503.60	505.76	2.16	1.72	100.00	0.00
Σ				125.70	100.00		

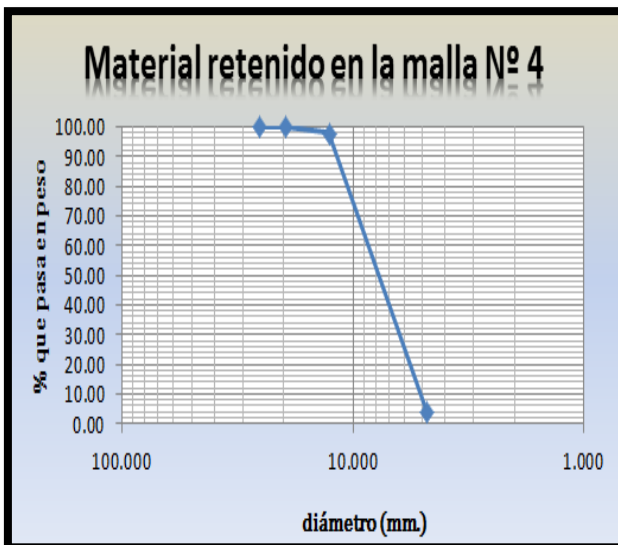


Figura 4.44 Curva Granulométrica 1 sondeo 2

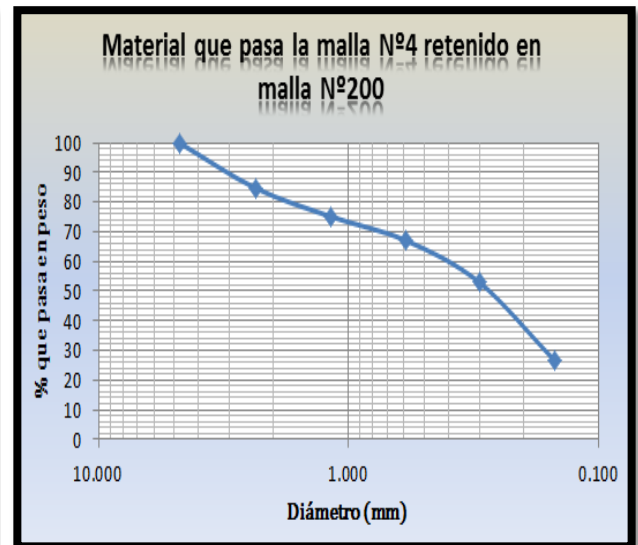


Figura 4.45 Curva Granulométrica 2 sondeo 2

Sondeo 3.

1. Separación de material con malla N°4.

Material ensayado (gr)	1500.00
------------------------	---------

Malla n°	Abertura (mm)	Peso de tamiz	Material retenido + malla (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido
4	4.76	441.15	681.83	240.68	16.05%
Fondo		503.75	1763.08	1259.33	83.96%
Σ				1500.00	100.00%

% Retenido	16.05%
% Que pasa	83.96%

2. Graduación de material retenido en malla N°4.

Material ensayado (gr)	240.68
------------------------	--------

Malla N°	Abertura (mm)	Peso del tamiz (gr)	Peso retenido + malla (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa la malla
1''	25.4	455.00	455.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4 ''	19.5	487.60	487.60	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2''	12.7	465.05	465.05	0.00	0.00	0.00	100.00
4	4.76	441.15	676.64	235.49	97.85	97.85	2.15
Fondo		503.75	508.94	5.19	2.16	100.00	0.00
Σ				240.68	100.00		

3. Lavado malla N°200.

Material ensayado	Malla n°	Abertura (mm)	Peso malla (gr)	W tara (gr)	Whúmedo + tara (gr)	Wseco + tara (gr)
500	200	0.075	1168.45	149.10	246.70	247.39

% que pasa la malla N°200	80.34%
---------------------------	--------

4. Graduación de material retenido en malla N°200.

Material ensayado (gr)	98.29
------------------------	-------

Malla n°	Abertura (mm)	Peso tamiz (gr)	Material retenido + malla (gr)	Peso material retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa la malla
4	4.76	441.30	441.36	0.06	0.06	0.06	99.94
8	2.36	416.20	430.10	13.90	14.14	14.20	85.80
16	1.18	351.10	371.79	20.69	21.05	35.25	64.75
30	0.59	338.92	351.70	12.78	13.00	48.26	51.74
50	0.3	293.40	303.00	9.60	9.77	58.02	41.98
100	0.15	278.71	294.80	16.09	16.37	74.39	25.61
200	0.075	270.30	294.30	24.00	24.42	98.81	1.19
Fondo		503.58	504.75	1.17	1.19	100.00	0.00
Σ				98.29	100.00		

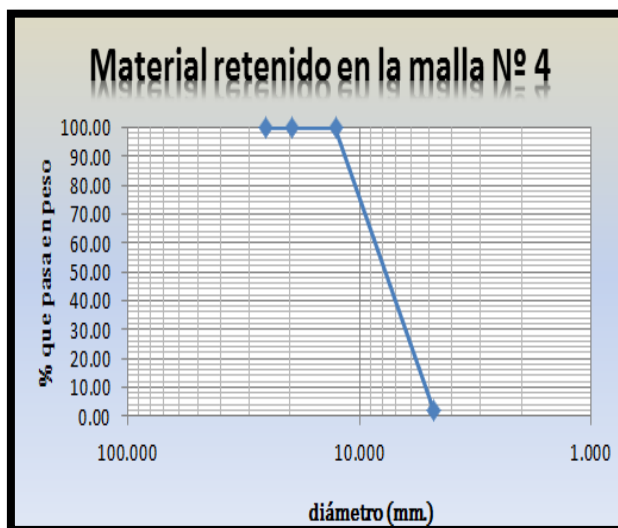


Figura 4.46 Curva Granulométrica 1 Sondeo 3.

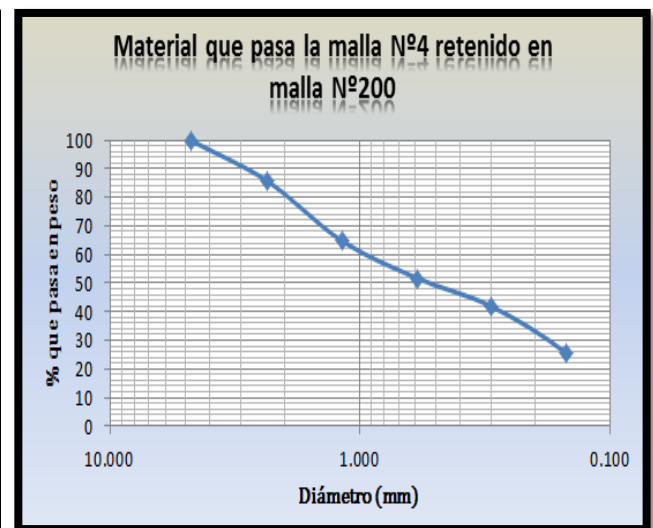


Figura 4.47 Curva Granulométrica 2 Sondeo 3.

Sondeo 4.

1. Separación de material con la malla N°4.

Material ensayado (gr)	1500.00
------------------------	---------

Malla n°	Abertura (mm)	Peso de tamiz	Material retenido + malla (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido
	4.76	441.15	768.10	326.95	21.80%
Fondo		503.75	1676.80	1173.05	78.20%
Σ				1500.00	100.00%

% Retenido	21.80%
% Que pasa	78.20%

2. Graduación de material retenido en la malla N°4.

Material ensayado (gr)	326.95
------------------------	--------

Malla N°	Abertura (mm)	Peso del tamiz (gr)	Peso retenido + malla (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa la malla
1''	25.4	455.00	455.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4 ''	19.5	487.60	487.60	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2''	12.7	465.05	473.73	8.68	2.65	2.65	97.35
4	4.76	441.15	748.34	307.19	93.96	96.61	3.39
fondo		504.50	515.58	11.08	3.39	100.00	0.00
Σ				326.95	100.00		

3. Lavado malla N°200.

Material ensayado (gr)	Malla n°	Abertura (mm)	Peso malla (gr)	W tara (gr)	Whúmedo + tara (gr)	W seco + tara (gr)
500	200	0.075	1168.90	93.00	295.30	202.30

% que pasa la malla N°200	78.14%
---------------------------	--------

4. Graduación de material retenido en la malla N°200.

Material ensayado (gr)	109.30
------------------------	--------

Malla n°	Abertura (mm)	Peso tamiz (gr)	Material retenido + malla (gr)	Peso material retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa la malla
4	4.76	441.30	441.30	0.00	0.00	0.00	100.00
8	2.36	416.20	432.85	16.65	15.23	15.23	84.77
16	1.18	351.00	360.66	9.66	8.84	24.07	75.93
30	0.59	339.33	346.78	7.45	6.82	30.89	69.11
50	0.3	293.51	308.75	15.24	13.94	44.83	55.17
100	0.15	278.80	309.30	30.50	27.90	72.74	27.26
200	0.075	270.40	299.20	28.80	26.35	99.09	0.91
fondo		503.60	504.60	1.00	0.91	100.00	0.00
Σ				109.30	100.00		

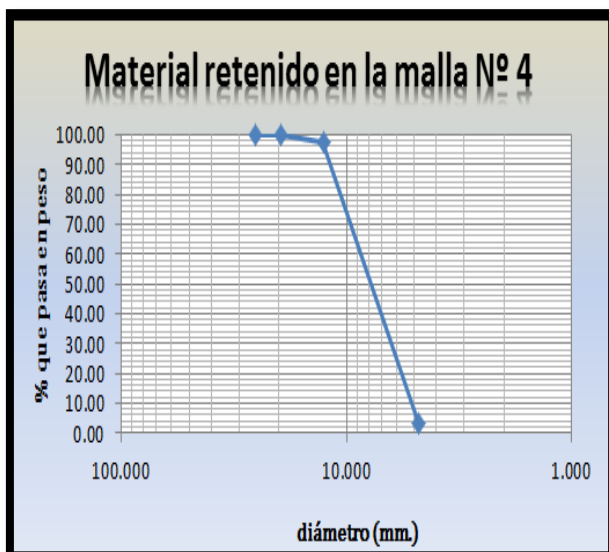


Figura 4.48 Curva Granulométrica 1 Sondeo 4.

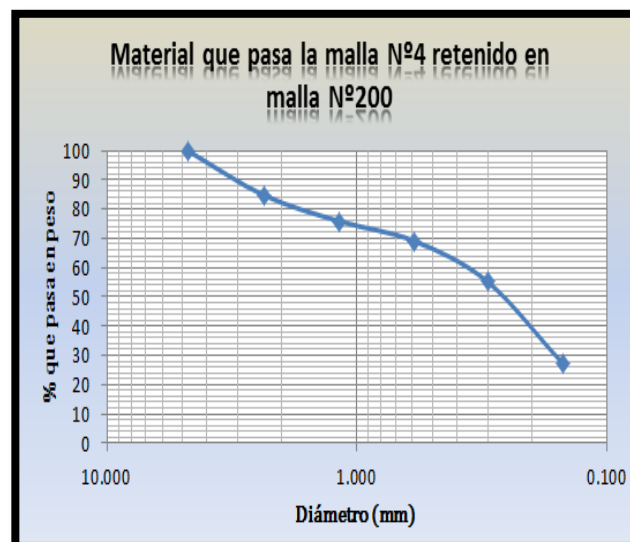


Figura 4.49 Curva Granulométrica 2 Sondeo 4.

Sondeo 5.

1. Separación de material con la malla N°4.

Material ensayado (gr)	1500.00
------------------------	---------

Malla n°	Abertura (mm)	Peso de tamiz	Material retenido + malla (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido
4	4.76	440	720.00	280.00	18.67%
Fondo		505	1725.00	1220.00	81.33%
Σ				1500.00	100.00%

% Retenido	18.67%
% Que pasa	81.33%

2. Graduación de material retenido en la malla N°4.

Material ensayado (gr)	280.00
------------------------	--------

Malla N°	Abertura (mm)	Peso del tamiz (gr)	Peso retenido + malla (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa la malla
1''	25.4	455.00	455.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4 ''	19.5	485.00	485.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2''	12.7	465.00	471.66	6.66	2.38	2.38	97.62
4	4.76	440.00	701.67	261.67	93.45	95.83	4.17
fondo	0	505.00	516.66	11.66	4.16	100.00	0.00
Σ				279.99	100.00		

3. Lavado malla N°200.

Material ensayado (gr)	Malla n°	Abertura (mm)	Peso malla (gr)	W tara (gr)	Whúmedo + tara (gr)	Wseco + tara (gr)
500	200	0.075	1168.90	225.00	350.00	347.65

% que pasa la malla N°200	75.47%
---------------------------	--------

4. Graduación de material retenido en la malla N°200.

Material ensayado (gr)	122.65
------------------------	--------

Malla n°	Abertura (mm)	Peso tamiz (gr)	Material retenido + malla (gr)	Peso material retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa la malla
4	4.76	441.40	441.40	0.00	0.00	0.00	100.00
8	2.36	416.21	436.39	20.18	16.45	16.45	83.55
16	1.18	351.01	369.50	18.49	15.08	31.53	68.47
30	0.59	339.20	354.38	15.18	12.38	43.91	56.09
50	0.3	293.50	310.83	17.33	14.13	58.04	41.96
100	0.15	278.89	304.87	25.98	21.18	79.22	20.78
200	0.075	270.36	295.30	24.94	20.33	99.55	0.45
fondo		503.71	504.26	0.55	0.45	100.00	0.00
Σ				122.65	100.00		

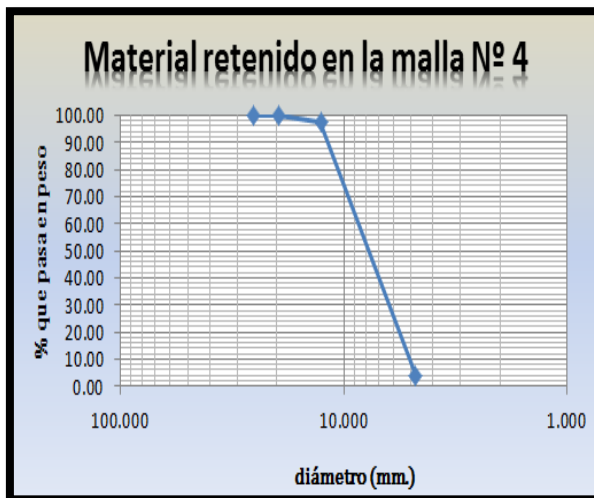


Figura 4.50 Curva Granulométrica 1 Sondeo 5.

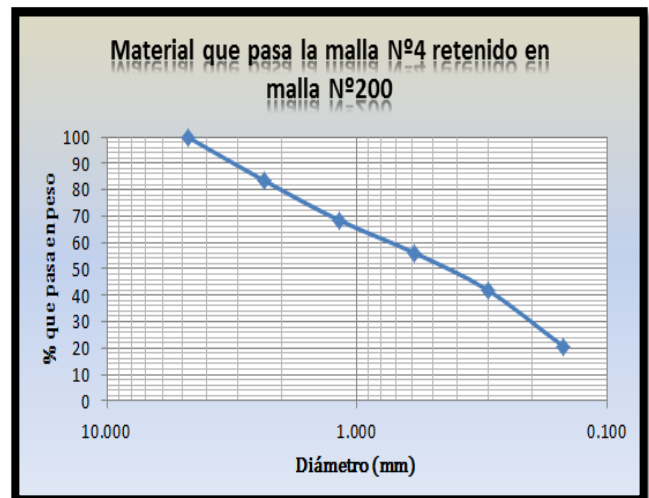


Figura 4.51 Curva Granulométrica 2 Sondeo 5.

Sondeo 6.

1. Separación de material con la malla N°4.

Material ensayado (gr)	1500.00
------------------------	---------

Malla n°	Abertura (mm)	Peso de tamiz	Material retenido + malla (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido
4	4.76	440	682.50	242.50	16.17%
Fondo		505	1762.50	1257.50	83.83%
Σ				1500.00	100.00%

% Retenido	16.17%
% Que pasa	83.83%

2. Graduación de material retenido en la malla N°4.

Material ensayado (gr)	242.50
------------------------	--------

Malla N°	Abertura (mm)	Peso del tamiz (gr)	Peso retenido + malla (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa la malla
1''	25.4	455.00	455.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4 ''	19.5	485.00	485.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2''	12.7	465.00	470.84	5.84	2.41	2.41	97.59
4	4.76	440.00	665.83	225.83	93.13	95.53	4.47
fondo		505.00	515.83	10.83	4.47	100.00	0.00
Σ				242.50	100.00		

3. Lavado malla N°200.

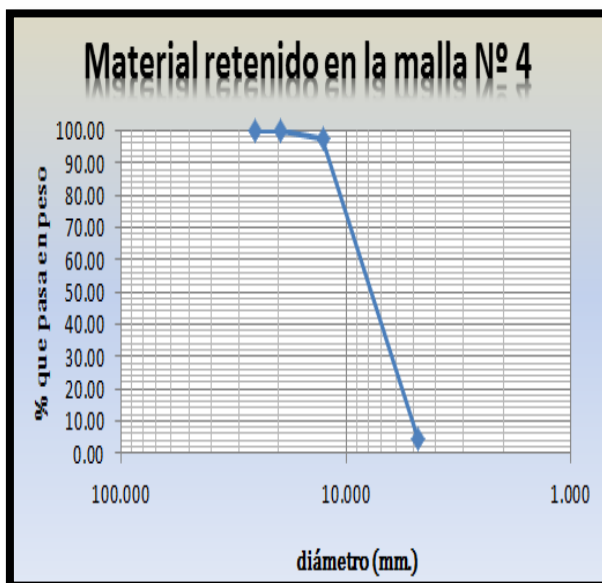
Material ensayado (gr)	Malla N°	Abertura (mm)	Peso malla (gr)	W tara (gr)	Whúmedo + tara (gr)	Wseco + tara (gr)
500	200	0.075	1168.90	95.00	250.00	245.21

% que pasa la malla N°200	69.96%
---------------------------	--------

4. Graduación de material retenido en la malla N°200.

Material ensayado (gr)	150.21
------------------------	--------

Malla n°	Abertura (mm)	Peso tamiz (gr)	Material retenido + malla (gr)	Peso material retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa la malla
4	4.76	441.20	441.20	0.00	0.00	0.00	100.00
8	2.36	416.25	441.59	25.34	16.87	16.87	83.13
16	1.18	350.90	375.90	25.00	16.64	33.51	66.49
30	0.59	339.25	356.08	16.83	11.20	44.72	55.28
50	0.3	293.58	311.48	17.90	11.92	56.63	43.37
100	0.15	278.90	309.77	30.87	20.55	77.19	22.81
200	0.075	270.40	304.48	34.08	22.69	99.87	0.13
fondo		503.68	503.87	0.19	0.13	100.00	0.00
Σ				150.21	100.00		



Sondeo 7.

1. Separación de material con la malla N°4.

Material ensayado (gr)	1500.00
------------------------	---------

Malla n°	Abertura (mm)	Peso de tamiz	Material retenido + malla (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido
4	4.76	441.3	860.04	418.74	27.92%
Fondo		503.58	1584.84	1081.26	72.08%
Σ				1500.00	100.00%

% Retenido	27.92%
% Que pasa	72.08%

2. Graduación de material retenido en la malla N°4.

Material ensayado (gr)	418.74
------------------------	--------

Malla N°	Abertura (mm)	Peso del tamiz (gr)	Peso retenido + malla (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa la malla
1''	25.4	458.10	458.10	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4 ''	19.5	487.58	487.58	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2''	12.7	465.20	465.20	0.00	0.00	0.00	100.00
4	4.76	441.30	851.46	410.16	97.95	97.95	2.05
fondo		503.58	512.16	8.58	2.05	100.00	0.00
Σ				418.74	100.00		

3. Lavado malla N°200.

Material ensayado (gr)	Malla N°	Abertura (mm)	Peso malla (gr)	W tara (gr)	Whúmedo + tara (gr)	Wseco + tara (gr)
500	200	0.075	1169.00	148.71	193.51	192.31

% que pasa la malla N°200	91.28%
---------------------------	--------

4. Graduación de material retenido en la malla N°200.

Material ensayado (gr)	43.60
------------------------	-------

Malla n°	Abertura (mm)	Peso tamiz (gr)	Material retenido + malla (gr)	Peso material retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa la malla
4	4.76	441.20	441.20	0.00	0.00	0.00	100.00
8	2.36	416.20	419.24	3.04	6.97	6.97	93.03
16	1.18	351.05	355.47	4.42	10.14	17.11	82.89
30	0.59	339.20	344.86	5.66	12.98	30.09	69.91
50	0.3	293.72	300.33	6.61	15.16	45.25	54.75
100	0.15	278.91	289.58	10.67	24.47	69.72	30.28
200	0.075	270.36	282.93	12.57	28.83	98.56	1.44
fondo		503.51	504.14	0.63	1.44	100.00	0.00
Σ				43.60	100.00		

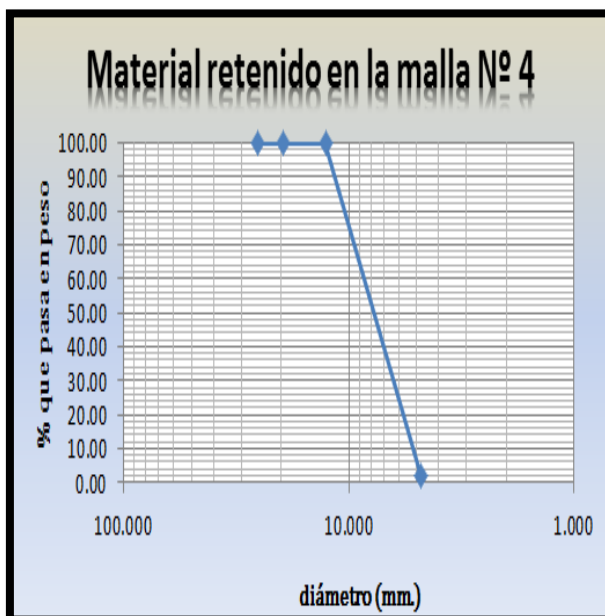


Figura 4.54. Curva Granulométrica 1 Sondeo 7.

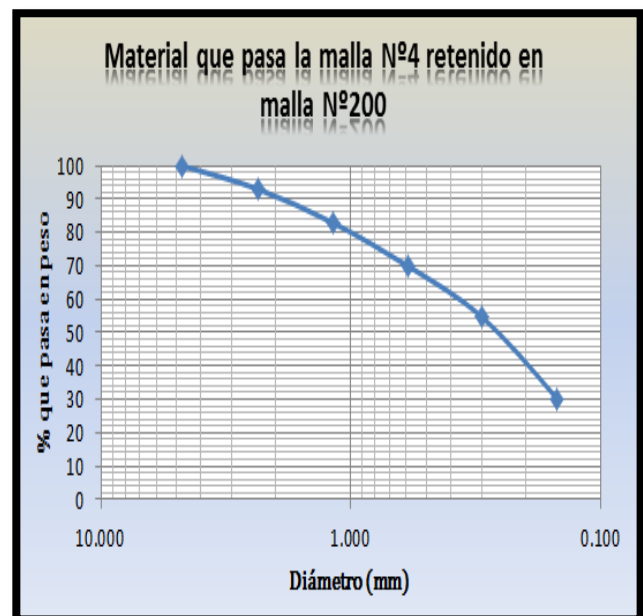


Figura 4.55. Curva Granulométrica 2 Sondeo 7.

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN

Sondeo	Coeficiente de Uniformidad	Coeficiente de curvatura	Separación de gravas y arenas con malla N° 4		Lavado de material fino malla N° 200
			% Retenido malla N°4	% Que pasó malla N° 4	% Finos total
1	No se puede obtener	No se puede obtener	15.69%	84.31%	64.94%
2	No se puede obtener	No se puede obtener	19.43%	80.57%	74.86%
3	No se puede obtener	No se puede obtener	16.05%	83.96%	80.34%
4	No se puede obtener	No se puede obtener	21.80%	78.20%	78.14%
5	No se puede obtener	No se puede obtener	18.67%	81.33%	75.47%
6	No se puede obtener	No se puede obtener	16.17%	83.83%	69.96%
7	No se puede obtener	No se puede obtener	27.92%	72.08%	91.28%

Tabla 4.32 Resumen de resultados Granulometría.

NOTA: El coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura no se pueden determinar debido a que el porcentaje de material que pasa la malla 200 es mayor que el 12%.



Figura 4.56 Cribado en Rop-Tap de Facultad Multidisciplinaria Oriental.



Figura 4.57 Pesado de malla después del cribado.



Figura 4.58 Lavado de material fino con malla N°200.

Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos (ASTM D 4318).

En mecánica de suelos puede definirse la plasticidad como la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse.⁴³

En el estudio de movimientos de ladera, la plasticidad del suelo es un factor muy determinante en la ocurrencia de deslizamientos, ya pues, ésta característica según

⁴³Mecánica de Suelos. Juárez Badillo – Rico Rodríguez. Pág. 127.

Atterberg es una propiedad circunstancial que depende de la cantidad de agua presente en el suelo.

Para determinar la plasticidad de un suelo se realiza a través del cálculo de los límites conocidos como Límites de consistencia de Atterberg, los cuales son:

- Límite líquido.
- Límite plástico.
- Límite de retracción o contracción.

Para nuestro caso en particular, solo nos interesa conocer los llamados límites de plasticidad, es decir, límite líquido y límite plástico, así como la relación que existe entre ellos para poder hacer la clasificación correspondiente a cada uno de los sondeos.

En la tabla se presenta un resumen de los resultados obtenidos en cada sondeo, los valores que se evaluaron, las gráficas de curva de fluidez y el ábaco de Casagrande se presentan en la sección de ANEXOS (1-9).

Sondeo	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Clasificación
1	46.66	21.29	25.37	CL
2	41.96	13.76	28.19	CL
3	39.67	22.23	17.44	CL
4	42.53	19.40	23.14	CL
5	47.83	14.56	33.27	CL
6	49.25	36.71	12.54	ML
7	75.06	47.71	27.34	MH

Tabla 4.33 Resultados obtenido del ensayo para determinación de límites de consistencia ASTM D 4318.



Figura 4.59 Determinación de Límite líquido por el método de la copa de Casagrande.



Figura 4.60 Rollitos para determinación del límite plástico.

Ensayos de laboratorio realizados a muestras inalteradas.

Los ensayos realizados a partir de las muestras inalteradas, fueron hechos en el laboratorio de suelos del Centro de Tecnología Aplicada de la Fundación Padre Arrupe de El Salvador, ya que el laboratorio de suelos de la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador no cuenta con los equipos necesarios para realizar las pruebas seleccionadas, y por otra parte, el laboratorio de suelos y materiales Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina ubicado en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador Campus Central, se encuentra en remodelación, lo cual no permitió poder realizar ahí las pruebas.

Como parte de todo proceso geotécnico, ocurren errores ya sea por la falta de experiencia, mala ejecución de los equipos, etc. Por nuestra parte, uno de los errores cometidos fue la extracción de muestras inalteradas, ya que éstas se realizaron en época de verano, lo cual lleva a tener resultados muy poco representativos de los ensayos para determinar las propiedades mecánicas de los suelos.

El director de Laboratorios y consultoría del Centro de Tecnología aplicada Fundación Padre Arrupe de El Salvador, Ingeniero Civil, MSE. Luis Felipe Gallegos Mejía, recomienda que para obtener resultados más representativos en los ensayos para determinar las propiedades mecánicas las muestras inalteradas deben ser extraídas en época de invierno, en estado húmedo.

Con el fin de presentar mejores resultados, se realizó una visita de campo imprevista en el programa el 13 y 14 de Julio de 2011, con el propósito de obtener nuevas y mejores muestras inalteradas. Las coordenadas de las nuevas muestras se presentan en la siguiente tabla:

Ubicación de Sondeos			
Sondeo	Coordenada Este (mts.)	Coordenada Norte (mts.)	Elevación (mts.)
S-1	600,398.00	290,810.00	432.00
S-2	600,551.00	290,941.00	455.00
S-3	600,593.00	290,978.00	501.00
S-4	600,573.00	291,032.00	491.00
S-5	600,832.00	290,900.00	495.00
S-6	600,833.00	291,173.00	520.00

Tabla 4.34 Coordenadas de sondeos en muestras inalteradas.



Figura 4.61 Extracción de muestra inalterada S-1.



Figura 4.62 Protección de muestras con parafina y manta antes de su empaquetamiento.



Figura 4.63 Labrado final de la muestra y cubierta de parafina.



Figura 4.64 Empaquetamiento final de la muestra.

Las muestras inalteradas fueron transportadas hacia el laboratorio el día viernes 15 de Julio 2011 y se recibieron los resultados el día martes 16 de Agosto de 2011. El reporte de los resultados presentado por el Ing. Luis Felipe Gallegos Mejía se encuentra en la sección ANEXO (10-51). A continuación se presenta un resumen de los resultados de cada prueba:

Determinación de la gravedad específica de los sólidos del suelo por el método del picnómetro con agua (ASTM D 854).

La gravedad específica de los suelos es una propiedad física y se define como la relación de masa de una unidad de volumen de un material a una temperatura establecida a la masa del mismo volumen de agua destilada libre de gas a la misma temperatura.

Gravedad específica de suelos ASTM D854 Método "A"			
Sondeo	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
S-1	2.793	2.786	2.790
S-2	2.500	2.476	2.488
S-3	2.754	2.740	2.747
S-4	2.765	2.745	2.755
S-5	2.499	2.433	2.466
S-6	2.669	2.640	2.654

Tabla 4.35 Resumen de datos de ensayo Gravedad Específica.

Con los datos obtenidos en el ensayo de gravedad específica, se obtuvieron las relaciones volumétricas y gravimétricas de los 6 sondeos expresados en la Tabla siguiente.

Sondeo	Relación de vacíos (e)	Porosidad (n%)	Grado de saturación (S%)	Contenido de humedad (ω)	Peso volumétrico (γ)	Peso volumétrico seco (γ_d)	Peso volumétrico saturado (γ_{sat})	Peso unitario de los sólidos (γ_s)
1	1.754	63.687	83.753	42.153	1.648	1.160	1.650	3.193
2	1.029	50.717	91.730	34.000	1.733	1.293	1.733	2.624
3	1.438	58.977	80.560	33.217	1.716	1.287	1.717	3.140
4	1.925	65.812	79.160	41.180	1.598	1.130	1.600	3.312
5	0.981	49.523	92.787	33.633	1.740	1.300	1.740	2.579
6	1.409	58.484	87.077	38.627	1.687	1.217	1.687	2.931

Tabla 4.36 Relaciones volumétricas y gravimétricas de las muestras inalteradas.

Ensayo de compresión Triaxial (ASTM D 2850).

El ensayo de compresión Triaxial se realizó del tipo no consolidado y rotura a compresión sin drenaje evaluado en tres puntos.

Las gráficas esfuerzo desviador-deformación y el de envolvente de falla se presentan en el reporte entregado por el laboratorio en la sección de ANEXOS (10-51).

Sondeo	Cohesión (kp/cm ²)	Angulo (ϕ)	Clasificación
1	0.23	7.49 ⁰	CL
2	0.12	11.54 ⁰	CL
3	0.18	9.8 ⁰	CL
4	0.34	12.09 ⁰	CL
5	0.14	10.39 ⁰	CL
6	0.11	6.38 ⁰	ML

Tabla 4.37 Resumen de resultados ensayo de compresión Triaxial.

Ensayo de corte directo (ASTM D 3080).

El ensayo de corte directo, al igual que el de compresión Triaxial fue evaluado en tres puntos por cada sondeo de manera no consolidado no drenado.

Los parámetros obtenidos para cada sondeo y las gráficas Tensión tangencial vs. Deformación corregida y normal, se presentan en la sección ANEXOS (10-51).

Sondeo	Ángulo de rozamiento (Φ)	Cohesión (kg/cm ²)	Corregida		Clasificación
			Ángulo de rozamiento (Φ)	Cohesión (kg/cm ²)	
1	27.18	0.48	29.57	0.53	CL
2	33.65	0.13	39.68	0.09	CL
3	48.96	0.06	51.64	0.07	CL
4	23.84	0.6	27.1	0.76	CL
5	26.99	0.2	29.11	0.22	CL
6	29.03	0.2	31.22	0.23	ML

Tabla 4.38 Resumen de resultados ensayo de corte directo.

4.4.5 PROMEDIO DE RESULTADOS.⁴⁴

Propiedades físicas de suelo.

Propiedad Física del suelo	Adentro de la zona del movimiento	Afuera de la zona del movimiento
Contenido de Humedad en estado seco (%)	20.97	22.77
Material retenido en la malla 4 (%)	17.22	21.02
Material que pasa la malla 4 (%)	82.79	78.98
Material de finos que pasan la malla 200 (%)	75.05	77.46
Límite líquido (%)	43.63	53.02
Límite plástico (%)	24.23	25.74
Índice de plasticidad (%)	19.33	27.28
Gravedad específica	2.57	2.00
Relación de vacíos	1.29	1.55
Porosidad (%)	56.06	59.67
Grado de saturación (%)	86.46	85.23
Contenido de Humedad en estado saturado (%)	35.28	38.99
Peso volumétrico (g/cm ³)	1.71	1.66
Peso volumétrico seco (g/cm ³)	1.27	1.20
Peso volumétrico saturado (g/cm ³)	1.71	1.66

Tabla 4.39 Valores promedio de propiedades físicas del suelo.

Propiedades mecánicas del suelo.

Compresión Triaxial	Cohesión	Angulo de Fricción interna (ϕ)
Adentro de la zona del movimiento	0.14	9.24
Afuera de la zona del movimiento	0.24	9.99
Corte Directo	Cohesión	Angulo de Fricción interna (ϕ)
Adentro de la zona del movimiento	0.13	40.85
Afuera de la zona del movimiento	0.50	28.55

Tabla 4.40 Valores promedio de propiedades mecánicas del suelo.

⁴⁴ Los sondeos dentro de la zona del movimiento son el 2, 3 y 6. Los sondeos fuera de la zona del movimiento son el 1, 4, 5 y 7.

4.4.6 INFORMACIÓN GEOLÓGICA BÁSICA.

La información sobre la geología del sitio es común encontrarla en mapas geológicos o artículos técnicos de revistas de geología o publicaciones de universidades. En la mayoría de los países existen entidades encargadas del levantamiento y publicación de la información geológica.

El mapa geológico en sí no especifica la presencia de deslizamientos o terrenos susceptibles a movimientos de ladera; esta información, teniendo la experiencia necesaria, puede inducirse por la relación estrecha que existe entre la geología y la inestabilidad de los taludes.

La siguiente información fue obtenida del mapa geológico de El Salvador y el Léxico estratigráfico de El Salvador hecho por CEL.⁴⁵

4.4.6.1 FORMACIONES GEOLÓGICAS DE LA ZONA.

Formación Morazán (Mioceno), miembro m2'a: Sección constituida por rocas efusivas intermedias hasta intermedias-ácidas y piroclásticas subordinadas, en parte silicificadas, con metamorfismo de contacto o con alteración hidrotermal. Compuestos por rocas extrusivas, básicas intermedias; ácidas, piroclásticas, tobas fundidas, riolitas y epiclásticas volcánicas

Formación Cuscatlán (Pleistoceno Inferior hasta Plioceno Superior), miembro c2: Sección de rocas volcánicas efusivas de tipo ácido y ácido-intermedio, de ocurrencia aislada. Están compuestos por productos extrusivos de los volcanes individuales. Estos productos son: corrientes de lava, aglomerados, tobas, escorias y cenizas volcánicas endurecidas y tobas fundidas con intercalaciones de sedimentos lacustres y fluviales. El espesor de los estratos y su sucesión varía de volcán a volcán. También se encuentran suelos fósiles de color rojo de poca profundidad (hasta 4 metros).

⁴⁵ Información proporcionada por Instituto de ciencias de la tierra, escuela de física, facultad de ciencias naturales y matemáticas, Universidad de el Salvador, campus Central.

Formación Chalatenango (Mioceno Superior), miembro ch1: Rocas piroclásticas ácidas, epiclastitas volcánicas, ignimbritas y rocas efusivas intercaladas, localmente silicificadas. Son rocas volcánicas ácidas de carácter riolítico-dacítico; prevalecen las tobas muy endurecidas de colores claros; el espesor de esta serie es aproximadamente mayor de 500 m.

4.5 ESTUDIO HIDROLOGICO.

Criterios Utilizados para el Análisis Hidrológico.

Para llevar a cabo el estudio hidrológico se recopiló la información básica siguiente:

- Datos de precipitación pluvial de la estación climatológica de San Francisco Gotera, Departamento de Morazán.
- Información de campo de la zona de vegetación en la cuenca.
- Uso del suelo.

El estudio hidrológico consiste en el análisis de la cuenca quebrada Gualindo Arriba, con el objeto de calcular los caudales máximos que pasa por el punto de interés, respecto a valores de intensidades máximas de diseño. Así como determinar las características físicas y de comparación de la cuenca en la que se encuentra la ladera, identificación del coeficiente de escorrentía de la cuenca, todo esto será evaluado para los periodos de retorno iguales a 25 y 50 años.

4.5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA.

4.5.1.1 ORIENTACIÓN DE LA CUENCA.

La cuenca de la quebrada Gualindo Arriba, se encuentra ubicada en el Cantón Gualindo Arriba, Municipio de Lolotiquillo, Departamento de Morazán; limita al Sur con el cerro Corobán y valle nuevo; al Oeste con el cantón Gualindo Centro; al Norte con el cerro Cacalote y caserío Los Hernández; y al Este con el cantón y caserío La Manzanilla. Se encuentra entre los 13°33' y 13°45' latitud Norte y los 88°33' y 88°44' longitud Oeste.

4.5.1.2 HIDROLOGIA.

La quebrada Gualindo Arriba está considerada como torrencial. Su cuenca se caracteriza por un drenaje dendrítico cuya densidad es de 3.16 Km. /Km². El lecho principal tiene 1.69 Km. de largo, la cuenca posee una diferencia de elevación de 460 mts, lo que hace una pendiente media del 38.9 %. Los suelos que predominan son de baja permeabilidad. El uso de la tierra no es adecuado sobre todo en la región montañosa donde las precipitaciones son más fuertes y las pendientes más inclinadas. Todas estas condiciones determinan el comportamiento especial de la cuenca.

4.5.1.3 VEGETACIÓN.

La superficie de la cuenca se identifica con una vegetación ligera, dado que los terrenos son poco utilizados para uso agrícola. Por lo tanto, su vegetación comprende especies de arbustos, árboles frutales y maderables, tales como: Carao, Mango, Aguacate, Anona, Teca, Aceituno, Guayaba, Quebracho, Bambú, Limón, Conacaste, Madre Cacao, Laurel, pastos naturales, entre otros. En general puede decirse que la cuenca posee una zona boscosa en la parte alta, cultivos y matorrales en la parte media y baja. Tal como podemos apreciar en la figura 4.65.



Figura 4.65 Vegetación existente en la parte alta de la cuenca y media de la cuenca.

4.5.1.4 USOS DEL SUELO.

El uso del suelo dentro de la cuenca se restringe a usos productivos, sobresaliendo entre ellos cultivos hortícolas, pastos naturales asociados con arbustos y matorrales, cultivos de granos básicos como: maíz, fríjol, etc.

4.5.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CUENCA.

Las características físicas que presenta la cuenca en estudio nos da a conocer cuáles son las condiciones topográficas que se encuentran presentes en ésta, sabemos que la cuenca es un sistema natural de drenaje que evacua las aguas hacia fuera de ésta y depende grandemente de la topografía de la cuenca.

El procedimiento que se utilizó para obtener la lectura del área, perímetro, longitud de cauce principal, áreas entre curvas de nivel, así como longitud de las curvas de nivel de la cuenca, entre otros, fue el de digitalizar el cuadrante cartográfico como una imagen y posteriormente exportar al programa Autodesk Land Desktop versión 2004, se proyectó a escala real para mayor exactitud para el respectivo tratamiento de los datos.

Para el análisis de la cuenca de la quebrada Gualindo Arriba, se dispuso de un cuadrante cartográfico en una escala de 1:25000. Además se utilizaron las fórmulas mencionadas para el cálculo de la característica física de la cuenca expresada en el capítulo anterior. Los resultados obtenidos se presentan en las tablas 4.41 y 4.42.

A continuación se enumeran las características físicas y de comparación que se deben considerar al momento de analizar la cuenca que se está estudiando.

Características físicas de la cuenca							
Área de la cuenca ⁴⁶ (km ²)	Perímetro de la cuenca (km)	Longitud del cauce principal (km)	Densidad de drenaje (km/km ²)	Drenaje de la cuenca	Desnivel de la cuenca (msnm)	Elevación media de la cuenca (m) ⁴⁷	Pendiente media de la cuenca (%)
2.01	6.50	1.69	3.16	Drenaje Dendrítico.	460.00	685.70	38.90

Tabla 4.41 Características físicas de la cuenca.

4.5.3 CARACTERÍSTICAS DE COMPARACIÓN DE LA CUENCA.

Las características de comparación de la cuenca se presentan en la tabla 4.42:

Cuadro de características de comparación de la cuenca	
Coefficiente de compacidad	Factor de forma
1.28	0.55

Tabla 4.42 Característica de comparación de la cuenca.

⁴⁶ Ver ANEXO 52

⁴⁷ Este corresponde al de mayor valor, evaluando los tres métodos. Ver capítulo 3.

El valor del factor de forma encontrado teóricamente se debería comparar con el valor del factor de forma de otra cuenca, que tuviera características físicas semejantes a la analizada y de esta manera clasificar la que mayor drenaje posea; sin embargo al no contar con otra cuenca dicho análisis se obviara en el estudio.

4.5.4 DETERMINACIÓN DE LA AVENIDA MÁXIMA.

La determinación de los caudales máximos para un estudio de movimiento de ladera es con el objeto de conocer los caudales de escorrentía superficial que circula por la ladera inestable y si este puede ser evacuado por los drenaje actuales de la cuenca. El caudal viene dado por la formula racional⁴⁸. Debido a que no se cuenta con una estación hidrométrica puntual en el punto de interés, se hará necesario analizar los registros existentes en la estación pluviométrica de San Francisco Gotera, ya que es la más próxima al área de investigación.

4.5.4.1 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.

Se define como el tiempo que tarda el agua precipitada en pasar del punto más alejado hasta la salida de la cuenca. El cálculo del tiempo de concentración es una variable que tiene incidencia en el cálculo del análisis de la intensidad de lluvia. Por lo tanto el cálculo del valor se tomó como el promedio entre la fórmula de Pickering y la fórmula empírica de Kirpich. Tal valor se presenta en la tabla 4.43.

Tiempo de concentración	
Formula de Pickering. $T_c = (0.871 L^3 / H)^{0.385}$	Fórmula Empírica de Kirpich. $T_c = 0.0078 ((L/0.3048)^{0.77}) (S^{-0.385})$
$T_c = 9.84 \text{ min.}$	$T_c = 8.56 \text{ min.}$
$T_c \text{ prom.} = 9.20 \text{ min.}$	

Tabla 4.43 Tiempo de concentración de la cuenca.

⁴⁸ Ecuación 3.8, capítulo 3

A partir de un tiempo de concentración (T_c) se definió un rango de intensidades para un tiempo próximo menor y un tiempo próximo mayor al valor de tiempo de concentración obtenido; para el caso $T_c = 9.20$ min., se selecciona un rango de intensidades entre 5-30 min.

4.5.4.2 PERIODO DE RETORNO.

Para la determinación del periodo de retorno de las lluvias, es de importancia tener en cuenta el valor actual de las intensidades máxima anuales de la estación meteorológica, este corresponde al año de 1982, y debido a que no se cuenta con un registro de los caudales en la quebrada en análisis, para nuestra investigación se evaluara para los periodos de retorno de 25 y 50 años.

Por tener un tipo de material de suelo de baja permeabilidad (arcillas), no se requiere de un evento de mayor intensidad para producir deslizamientos y por lo tanto el periodo de ocurrencia para un evento de menor intensidad se dan en periodo cortos.

4.5.4.3 INTENSIDAD DE DISEÑO.

Para determinar la intensidad de diseño se obtuvo la información de la precipitación a partir de los datos meteorológicos de la estación Z-2 ubicada en el Municipio San Francisco Gotera, Departamento de Morazán, estos datos son los siguientes:



SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS TERRITORIALES
SERVICIO METEOROLÓGICO
CENTRO DE INFORMACIÓN Y AGROCLIMATOLOGÍA
INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL
(ABSOLUTA)



En mm/minuto para diferentes períodos.
ESTACION: San Francisco Gotera
LATITUD: 13°41.8'
LONGITUD: 88° 06.4'
ELEVACION: 250 m.s.n.m.

Año	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
1962	2.80	2.60	2.33	2.10	1.60	1.19	0.93	0.78	0.66	0.47	0.40	0.31	0.21
1963	2.88	2.69	2.31	2.08	1.80	1.63	1.42	1.17	1.08	0.88	0.74	0.18	0.07
1964	2.56	2.05	1.81	1.76	1.47	1.11	0.86	0.58	0.46	0.26	0.23	0.20	0.12
1965	3.16	2.26	2.06	1.89	1.61	1.23	1.00	0.77	0.48	0.40	0.34	0.26	0.06
1966	3.40	3.14	2.83	2.14	1.52	1.02	0.84	0.61	0.53	0.51	0.41	0.21	0.18
1967	3.04	2.22	1.95	1.76	1.44	1.12	0.97	0.81	0.43	0.27	0.24	0.19	0.13
1968	2.68	2.59	2.43	2.32	1.92	1.33	0.84	0.67	0.27	0.22	0.19	0.16	0.08
1969	3.80	3.80	2.95	2.49	2.14	1.68	1.45	1.00	0.76	0.63	0.53	0.41	0.28
1970	3.32	2.41	2.00	2.00	1.95	1.44	1.10	0.75	0.40	0.33	0.28	0.22	0.19
1971	1.98	1.96	1.67	1.50	1.33	0.97	0.97	0.77	0.60	0.50	0.45	0.33	0.23
1972	2.01	1.96	1.17	1.12	1.00	0.90	0.76	0.53	0.40	0.34	0.29	0.22	0.17
1973	3.36	2.57	2.43	2.05	1.61	1.33	1.13	0.85	0.67	0.56	0.49	0.38	0.28
1974	2.00	1.96	1.96	1.75	1.31	0.95	0.71	0.48	0.36	0.28	0.30	0.28	0.20
1975	2.80	1.90	1.57	1.45	1.23	0.96	0.77	0.62	0.48	0.39	0.33	0.26	0.18
1976	2.58	2.39	1.96	1.87	1.06	1.28	1.06	0.73	0.55	0.44	0.40	0.32	0.21
1977	3.22	2.82	1.82	1.88	1.55	1.08	0.83	0.62	0.41	0.34	0.29	0.22	0.20
1978	3.24	3.09	2.71	2.52	1.87	1.55	1.22	0.83	0.63	0.50	0.42	0.32	0.19
1979	2.00	2.00	1.87	1.60	1.50	1.34	1.16	0.81	0.65	0.55	0.49	0.29	0.24
1980	2.60	2.20	1.93	1.78	1.40	1.01	0.81	0.58	0.50	0.60	0.52	0.29	0.29
1981	2.06	2.06	1.90	1.82	1.58	1.09	0.67	0.45	0.34	0.28	0.19	0.21	0.16
1982	3.04	2.33	1.40	1.36	1.23	1.03	0.92	0.69	0.56	0.47	0.47	0.39	0.28

Tabla 4.44 Intensidad de precipitación máxima anual, estación Z-2.

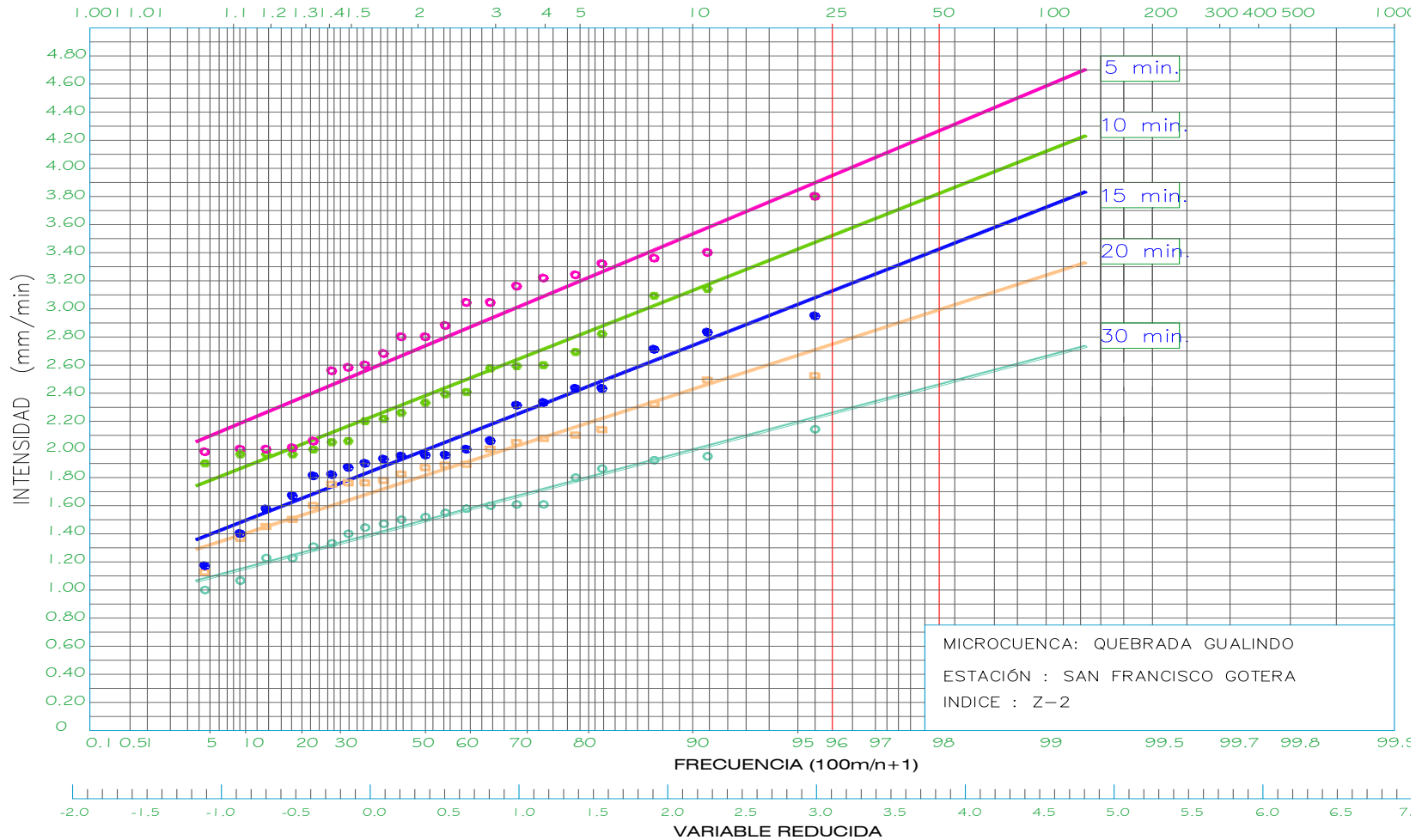
Luego se ordenaron de menor a mayor los datos de intensidades de precipitación, basándonos en el tiempo de concentración $T_c = 9.20$ min., se utilizaron lluvias de duraciones de: 5 min., 10 min., 15 min., 20 min. y 30 min. Calculamos la frecuencia empírica para cada uno de estos a partir de la ecuación 3.12 (Capítulo 3).

Frecuencia empírica y ordenamiento de intensidades							
Frecuencia Empírica			Ordenamiento de Datos				
Posición n	Años	fm %	5	10	15	20	30
1	1962	4.545	1.98	1.90	1.17	1.12	1.00
2	1963	9.091	2.00	1.96	1.40	1.36	1.06
3	1964	13.64	2.00	1.96	1.57	1.45	1.23
4	1965	18.18	2.01	1.96	1.67	1.50	1.23
5	1966	22.73	2.06	2.00	1.81	1.60	1.31
6	1967	27.27	2.56	2.05	1.82	1.75	1.33
7	1968	31.82	2.58	2.06	1.87	1.76	1.40
8	1969	36.36	2.60	2.20	1.90	1.76	1.44
9	1970	40.91	2.68	2.22	1.93	1.78	1.47
10	1971	45.45	2.80	2.26	1.95	1.82	1.50
11	1972	50	2.80	2.33	1.96	1.87	1.52
12	1973	54.55	2.88	2.39	1.96	1.88	1.55
13	1974	59.09	3.04	2.41	2.00	1.89	1.58
14	1975	63.64	3.04	2.57	2.06	2.00	1.60
15	1976	68.18	3.16	2.59	2.31	2.05	1.61
16	1977	72.73	3.22	2.60	2.33	2.08	1.61
17	1978	77.27	3.24	2.69	2.43	2.10	1.80
18	1979	81.82	3.32	2.82	2.43	2.14	1.87
19	1980	86.36	3.36	3.09	2.71	2.32	1.92
20	1981	90.91	3.40	3.14	2.83	2.49	1.95
21	1982	95.45	3.80	3.80	2.95	2.52	2.14

Tabla 4.45 Valores de intensidad máxima anual con su frecuencia.

Luego se graficaron los datos de intensidad, duración y frecuencia en papel Gumbel, (gráfica 4.1)

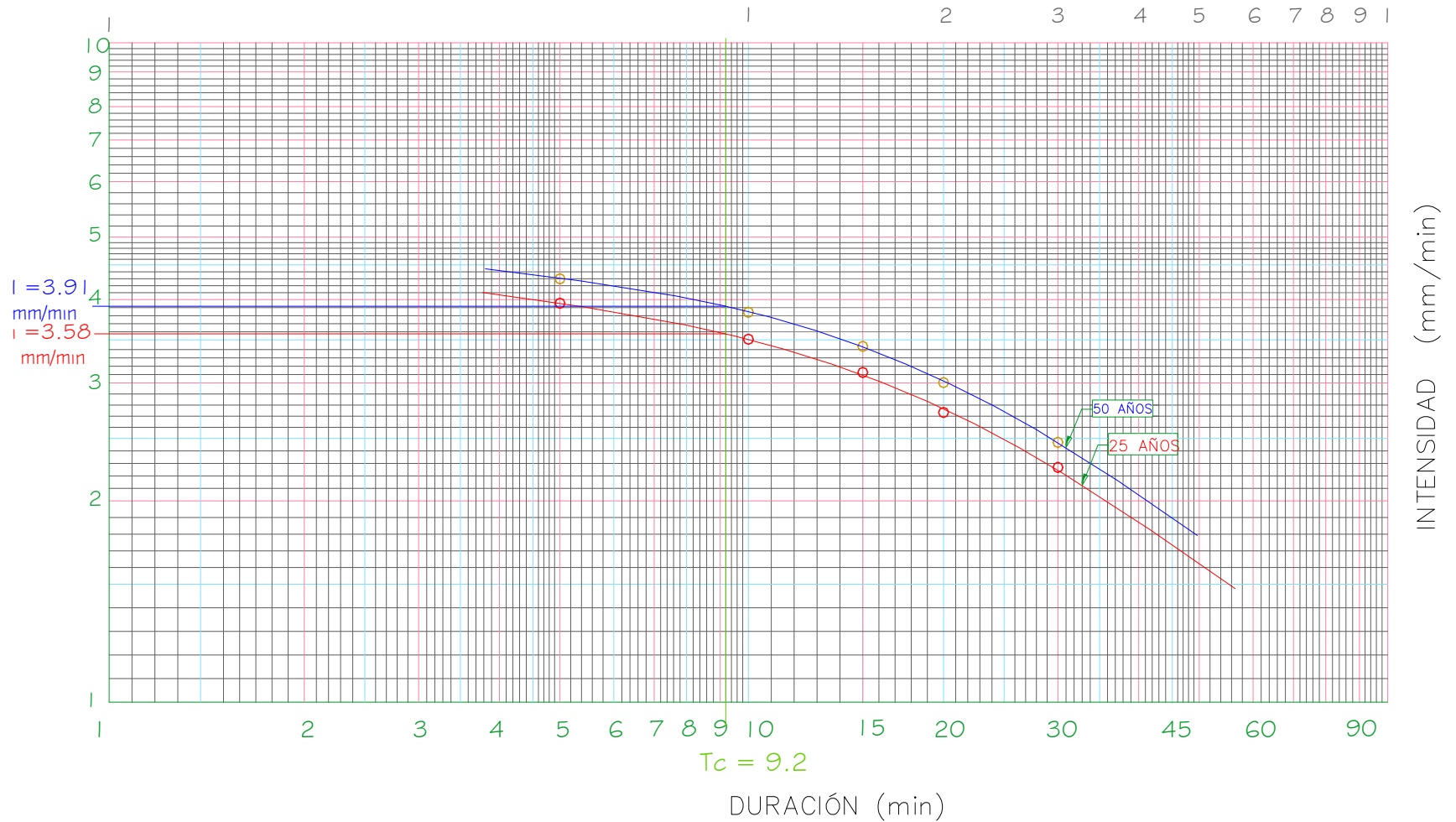
GRAFICA 4.1.
INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA.
PERIODO DE RETORNO: 25 y 50 AÑOS.



Grafica 4.1 Intensidad, duración y frecuencia.

GRAFICA 4.2. INTENSIDAD – DURACIÓN.

$T_c = 9.20 \text{ min.}$



Grafica 4.2 Determinación de los valores de las intensidades de diseño.

Los valores de la intensidad máxima de diseño de la cuenca para diferentes períodos de retorno y con un tiempo de concentración de 9.2 min., a partir de la curva intensidad – duración, se presentan en la siguiente tabla:

Período de retorno (años)	Intensidad de diseño (mm/min)
25	3.58
50	3.91

Tabla 4.46 Intensidades de diseños de la cuenca.

4.5.4.4 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA.

El valor del coeficiente de escorrentía se calculó por datos obtenidos en el campo, información de mapa geológicos. El tipo de suelo presente en la cuenca es de tipo m2a⁴⁹ constituida por rocas de composición acida, resultado de la solidificación de magma viscosos: lavas dacíticas, la cobertura vegetal que describe mediante la observación en la cuenca consta de una vegetación ligera, es decir árboles y arbustos en un 30 % del área de la cuenca; esta información se presenta más detallada en el siguiente tabla:

Parámetro geológicos		
Tipo de suelo	Conductividad hidráulica	Uso del suelo
m2a	Semipermeable	Suelo poco cultivable, vegetación ligera.

Tabla 4.47 Parámetros geológicos de la cuenca.

⁴⁹ Ver ANEXO 54

El coeficiente de escorrentía se tomó en base al nomograma de Ven - Te – Chow, este relaciona tres variables (Tabla 4.48).

Coeficiente de escorrentía		
Pendiente media de la cuenca (%)	Conductividad hidráulica	Cobertura vegetal
38.9	Semipermeable	Vegetación ligera
c = 0.49		

Tabla 4.48 Coeficiente de escorrentía de la cuenca.

A continuación se presentan los Caudales máximos de la cuenca⁵⁰ obtenidos para los períodos de retorno y duraciones de tormenta analizados.

Periodo de retorno (años)	Tiempo de concentración (min.)	Coeficiente de escorrentía (c)	Intensidad de diseño (mm/min.)	Área de la cuenca (km ²)	Caudal de la cuenca (m ³ /seg.)
25	9.2	0.49	3.58	2.01	58.77
50	9.2	0.49	3.91	2.01	64.18

Tabla 4.49 Caudales de diseños de la cuenca.

⁵⁰ Estos se muestran con más detalles en la sección de ANEXOS (55).

4.6 ANALISIS DE RESULTADOS.

La siguiente interpretación de resultados está basada en los datos recolectados durante todo el proceso de investigación, estos son datos topográficos, geotécnicos e hidrológicos, todo esto con el fin de proporcionar una mejor comprensión del fenómeno.

4.6.1 ESTUDIO TOPOGRAFICO.

4.6.1.1 AREA E INFRAESTRUCTURA.

El área estudiada es de 123,521.673 m² equivalente a 17.646 Mz. Pareciera que es un movimiento de pequeña escala, no obstante, si suponemos la altura de la superficie de falla de 1 m, que es un valor supuesto, nos da un volumen de material desplazado de 123,521.673 m³. Con este volumen el movimiento se encuentra clasificado como uno de Clase 4 o Movimiento Mediano, según Fell, 1994 (Tabla 4.50), por lo tanto para valores mayores de la altura de la superficie de falla este alcanzaría otras categorías más altas.

Una forma empírica de obtener una superficie de falla aparente es a partir de los perfiles longitudinales, de la siguiente manera:

- Se traza una superficie de falla aproximada, con forma cóncava⁵¹.
- Determinar el promedio de las distintas profundidades medidas desde la superficie del terreno hasta cubrir el total del movimiento.
- Para encontrar el volumen desplazado se multiplica el promedio de las profundidades encontradas por el área de deslizamiento.

Una vez habiendo hecho estos se encontró el siguiente resultado:

Profundidad promedio = 44.55 m

Área del movimiento = 123,521.673 m²

Volumen desplazado = 5,503,398.343 m³

⁵¹ Para nuestro caso particular, se considera una superficie cóncava ya que se supone un movimiento de tipo rotacional como se describe en el estudio geotécnico.

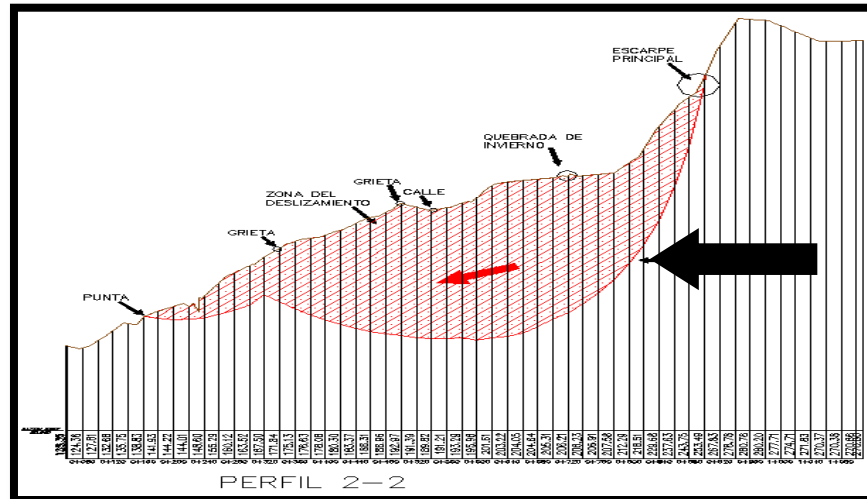


Figura 4.66 Superficie de falla aparente de la ladera.

Clasificación de deslizamiento de acuerdo con su volumen		
Clase de tamaño por volumen	Descripción del tamaño	Volumen (m ³)
1	Extremadamente pequeño	<500
2	Muy pequeño	500 – 5,000
3	Pequeño	5,000 – 50,000
4	Mediano	50,000 – 250,000
5	Medianamente grande	250,000 – 1,000,000
6	Muy grande	1,000,000 - 5,000,000
7	Extremadamente grande	>5,000,000

Tabla 4.50 Clasificación de deslizamiento hecha por Fell en 1994.

La infraestructura (Casas, ermita, postes) que se encuentra dentro de la zona inestable esta en precarias condiciones, debido a las grietas que ha ocasionado el movimiento de laderas.

La calle que atraviesa el cantón Gualindo Arriba también cruza el movimiento de laderas, esta se ubica en la parte media de la misma, está hecha de tierra y los cortes sobre el terreno son pocos, si bien es cierto existen deslizamientos en cierta parte del recorrido de esta, esto es efecto del movimiento y no se debe analizar separadamente.

4.6.1.2 ESCARPES, GRIETAS Y CUERPOS DE AGUA.

Los escarpes laterales se han desarrollado relativamente uno más que otro, estos nos indican la dirección y sentido que sigue el movimiento de laderas, en nuestro caso su dirección predominante es Sur-Oeste, en sentido del casco urbano del municipio de

Lolotiquillo, su altura relativa es variante, aunque en algunos sectores la masa se ha desplazado verticalmente hasta 3.5 metros.

Según los sondeos geofísicos realizados en el estudio geotécnico, se alcanzó una profundidad de 14.44 metros, y no se pudo detectar la superficie de falla, por lo tanto, podemos asegurar que la altura de la superficie de falla es mayor a los 14.44 metros que se profundizaron.

Existen tres sistemas de grietas los cuales se describieron anteriormente, estas son aprovechadas por el agua para canalizarse e infiltrarse dentro de la zona inestable. Dentro de este movimiento existe una zona en la cual confluyen los tres sistemas descritos, esta zona está delimitada por el flanco izquierdo, el escarpe principal, la línea azul que se observa en la figura y el tramo de calle donde está el puente.

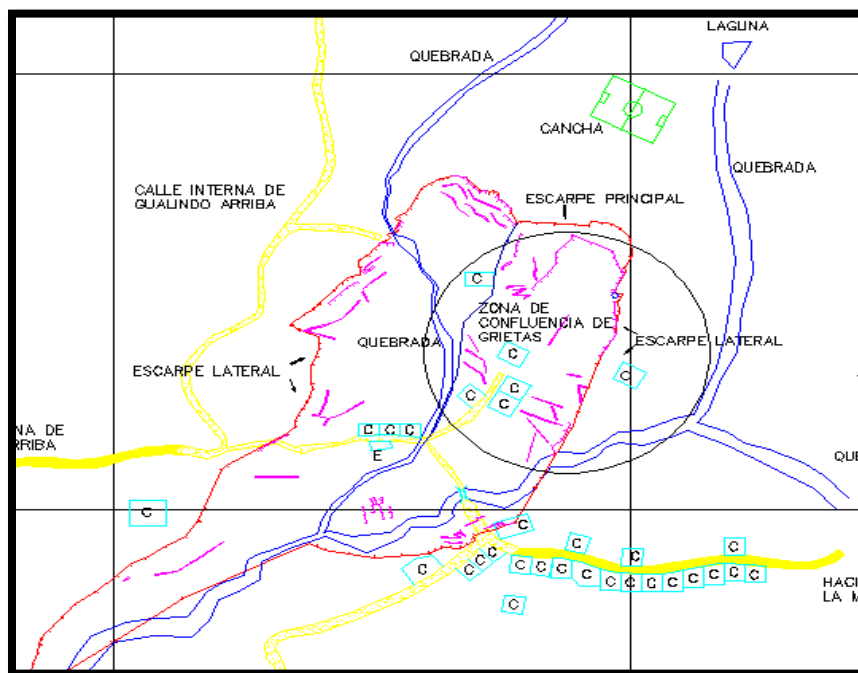


Figura 4.67 Zona de confluencia de los tres sistemas de grietas.

La importancia que tiene esta zona en esta interpretación es la siguiente: se ha observado en este lugar, el mayor número de detalles que identifican a un movimiento de laderas, por lo tanto los tres sistemas de grietas que aquí confluyen han ayudado a canalizar e infiltrar el agua y así producir movimientos relativos dentro del mismo movimiento, que al parecer son mayores que en las demás partes de la zona inestable.

Siguiendo nuestro análisis, en la zona descrita anteriormente se encuentran dos nacimientos de agua, que cuando fueron observados en época de verano, tenían agua, eso nos indica que:

- El nivel freático no está muy profundo.
- La zona de recarga de la cuenca es bastante efectiva; y
- Se confirma un movimiento de laderas.

Uno de estos nacimientos (NA 2) está contribuyendo con los procesos de erosión en la superficie afectada, lo hace de mayor manera en épocas de invierno cuando los niveles freáticos aumentan, por lo tanto los caudales que salen del afloramiento son mayores, el otro nacimiento no favorece a este proceso dado que es aprovechado para diferentes fines y posee una estructura que evita que el agua corra ladera abajo.

Uno de los factores del aumento de la presión de poros es la presencia de grietas, ya que estas sirven como conductos de infiltración para estratos más impermeables, y más aun cuando las grietas se encuentran en terrenos sin cobertura vegetal y relativamente planos, la infiltración aumenta y por ende la presión de poros. Hay una buena parte de las grietas registradas, que se encuentra en la zona media y baja de la superficie inestable, aunque en la zona superior de la ladera existen un grupo de grietas radiales, paralelas al escarpe principal, la infiltración de agua en estas últimas crea una situación peligrosa, ya que la presión del agua hidrostática se aumenta en forma relativamente importante, por lo tanto se incrementan los esfuerzos cortantes y se desestabiliza esta zona, pudiendo hacerla fallar repentinamente. Es probable que los sismos que se producen en el país y más importante los que ocurren cerca de la zona inestables, ayuden a originar nuevas grietas o a desarrollar más las que ya están.

En la zona de la corona se encuentra ubicada una laguna, la cual fue monitoreada en época de verano, contenía agua, la ubicación de este cuerpo de agua es importante debido a que se encuentra en la zona de la corona y puede estar ocurriendo infiltración hacia dentro de la ladera y así facilitar el movimiento de la misma, es en este lugar donde nace la quebrada Gualindo. Hay habitantes de la zona que nos comentaron que cuando comenzaron a aparecer las grietas en el lugar, la laguna se seco. También existe otra laguna, dentro de la

zona inestable, aunque esta es más bien una depresión del terreno y por la cual pasa una quebrada de invierno, que es la que le proporciona el agua.

4.6.1.3 OBRAS DE PASO Y QUEBRADAS.

En el caserío Gualindo Arriba existen dos obras de paso, una construida recientemente que no está dentro de la zona de estudio y la otra que se encuentra dentro de la zona inestable, esta obra se encuentra dañada por los efectos del movimiento de ladera y el gran empuje de tierra que está recibiendo en uno de los muros de retención (especialmente el del lado izquierdo), de modo que ha arrancando el cabezal de el lado derecho (la izquierda o la derecha se elige observando desde la corona hasta el pie), la dirección del movimiento sobre el puente es curioso, debido a que este apunta hacia la quebrada, poniendo en evidencia la inestabilidad de los escarpes laterales de la quebrada.

Los drenajes más importantes por donde el agua recorre la ladera son dos: La quebrada Gualindo y un canal que solo en invierno posee agua. Ambas quebradas poseen pendientes promedios bajas (14% y 17%) y estas se unen en un punto bajo de la ladera. En los escarpes de la quebrada Gualindo han ocurrido una serie de deslizamientos generalmente en la época lluviosa, estos escarpes alcanzan alturas de hasta 20 metros sobre el nivel de la quebrada, lo mismo pasa en la quebrada de invierno aunque en menor proporción debido a que la altura de los escarpes en esta son menores, el escarpe lateral izquierdo atraviesa a la quebrada Gualindo en un punto, esto puede indicar que también parte del agua de la quebrada se está infiltrando hacia la superficie de falla, los escarpes más altos denotan perfiles estratigráficos de material caótico es decir cantos y bloques en matriz de finos (arcillas y limos).

Cabe mencionar que la quebrada Gualindo en su recorrido pasa por la base del movimiento, en este lugar la quebrada produce procesos de erosión en los taludes aledaños, puede ser esta una causa de la activación de este movimiento.

4.6.1.4 CURVAS DE NIVEL, PERFILES TRANSVERSALES Y MAPA DE PENDIENTES.

Hay una parte fundamental para nuestro análisis y es la creación de curvas de nivel y a partir de estas se elaboraron perfiles transversales, dirección de escorrentía superficial y un mapa de pendientes, los cuales tratamos a continuación:

En el plano de curvas de nivel se muestra el patrón de drenajes de la ladera en cuestión, es decir las direcciones por donde drena el agua, esta se escurre por zonas donde hay grietas, modificando de esta manera el patrón de drenajes en un porcentaje de manera significativa aumentado la presión de poros y también la posibilidad de que esta llegue a la zona de cortante donde se desarrolla la superficie de falla.

Fueron creados cuatro perfiles en dirección longitudinal tratando de recorrer todo el movimiento de ladera (de pie a corona), y también se crearon nueve perfiles que recorren el movimiento de forma transversal a los anteriores es decir a lo ancho del movimiento.

Al revisar las curvas de nivel, los perfiles transversales y el mapa de pendientes se puede observar que las pendientes predominantes en la zona inestable, no son pendientes tan altas, el rango de pendientes predominantes es de 10% - 20%, que abarca un 28.9% de la superficie en estudio, este rango está clasificado como pendientes bajas; lo que implica mayor infiltración debido a que existe menor escorrentía superficial.

Clasificación de Pendientes	
Clasificación	Pendiente (Angulo de Inclinación)
Muy Baja	0 a 15% (0 a 8.5 grados)
Baja	15 a 30% (8.5 a 16.7 grados)
Mediana	30 a 50% (16.7 a 26.6 grados)
Alta	50 a 100% (26.6 a 45 grados)
Muy Alta	Más del 100% (Mas de 45 grados)

Tabla 4.51 Clasificación de las pendientes.

Los perfiles nos muestran zonas en donde se empoza el agua, esto es importante debido a que nos quiere decir que el suelo ya no puede absorber más agua, es decir que la succión equivale a cero, y el suelo está completamente saturado.

4.6.1.5 GEOMORFOLOGIA Y USO DEL SUELO.

Las cuatro unidades geomorfológicas descritas anteriormente, se ven afectadas directamente por el proceso que está ocurriendo, una de estas unidades (Unidad D) su origen es el movimiento de laderas que está ocurriendo en el lugar.

La geomorfología anterior al movimiento de laderas no es muy distinta a la actual, según historias relatadas por los pobladores del lugar, lo nuevo de este movimiento es el desarrollo de los escarpes laterales (Unidad D) y las grietas que han aparecido; durante mucho tiempo la morfología de lugar se ha conservado intacta, solo que antes en la ladera se cultivaba mas, no ha habido efectos antrópicos que hayan cambiado de forma perturbadoras el relieve y sus demás factores. Otro factor importante es el proceso de erosión que tienen los escarpes laterales de las quebradas (Unidad A), esto se profundiza con el movimiento de tierra y hace mucho más inestables dichos escarpes, previendo en un futuro que estos deslizamientos que se están dando puedan obstruir el curso actual de la quebrada y este reacomode su curso y afecte al actual patrón de drenaje.

Con respecto a la unidad morfológica C, se está viendo muy afectada por el movimiento de laderas ya que en esta parte se ha desarrollado el escarpe principal y una serie de grietas de forma radial, además esta zona está prácticamente descubierta y eso hace que los procesos erosivos aumenten. Si el movimiento sigue avanzando esta zona estaría dispuesta a desaparecer por sus altas pendientes y enorme cantidad de grietas y tierra suelta.

El sector semiplano representado por la unidad B, es el que más se ha visto afectado debido a la gran cantidad de grietas y el desplazamiento que está teniendo, las grietas han modificado el patrón de drenajes que existía, ya que estas canalizan e infiltran agua.

La mayor parte de la ladera, no es utilizada para nada, simplemente crece el pasto, y en ciertos sectores hay animales pastoreando. Esto hace que las gotas de agua en una lluvia golpeen directamente el suelo y se aceleren los procesos de erosión, infiltración y escorrentía superficial; también es importante ya que hay estudio de casos donde las probabilidades de que una ladera desprovista de cobertura vegetal falle son el triple que el de una que tenga cobertura vegetal, aunque se supone que en movimientos donde la altura de la superficie de falla es grande la cobertura vegetal no influencia de gran manera. Hay

zonas donde existe cobertura vegetal compuesta con árboles de tamaño mediano (teca, aceituna, ceiba, carao, mango, laurel, etc.), esta se encuentra ubicada en la parte media de la ladera y también siguiendo el curso de la quebrada Gualindo hasta llegar a la corona. Es interesante que en la parte baja de la ladera casi no exista cobertura vegetal de este tipo, ya que es en esta parte donde se necesitan arboles de gran tamaño para estabilizar los movimientos. Los cultivos no representan un área considerable.

4.6.2 ESTUDIO GEOTECNICO.

4.6.2.1 PERFILES ESTRATIGRÁFICOS.

Para interpretar los perfiles obtenidos con los sondeos eléctricos verticales, se utilizó el método conocido como Método de los Quiebres de curvas de Resistividad, con lo cual para el SEV 1 se obtuvo una curva tipo KQ, ya que las primeras 3 capas son de tipo $K = \rho_1 < \rho_2 > \rho_3$; y las capas 2, 3 y 4 son de tipo $Q = \rho_1 > \rho_2 > \rho_3$. Para el SEV 2 se obtuvieron curvas de tipo KHK, donde la curva tipo $H = \rho_1 > \rho_2 < \rho_3$.

Estos resultados obtenidos de la prospección Geofísica solo nos dan una idea de los espesores de los diferentes estratos de material que se encuentran en la zona, lo que nos demuestra la cantidad de arcilla saturada que existe en los estratos de la profundidad alcanzada.

4.6.2.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.

A través del análisis granulométrico de los suelos, se obtiene un porcentaje promedio dentro de la zona del movimiento de material retenido en la malla 4 (gravas) del 17.22%, y un porcentaje promedio que pasa la malla 4 (finos) del 82.79%, del cual el 75.05% de este último (82.79%), es material fino que pasa la malla 200 y el resto arena; por otra parte en la zona fuera del movimiento se obtiene un porcentaje promedio de material retenido en la malla 4 (gravas) del 21.02%, y un porcentaje promedio que pasa la malla 4 (finos) del 78.98%, del cual el 77.46% de este último (78.98%), es material fino que pasa la malla 200 y el resto arena con éstos datos obtenemos 2 curvas granulométricas promedio, para el material retenido en la malla 4 y para el material que pasa la misma.

La primer curva nos presenta un suelo mal graduado y la segunda muestra una granulometría discontinua a excepción del sondeo ubicado en la corona de la ladera, el cual posee un suelo bien graduado, cabe mencionar que éste sondeo está fuera de los límites del movimiento de laderas en estudio.

Con estos resultados, se verifica la gran cantidad de material arcilloso que existe en la zona del movimiento de ladera, lo que nos lleva a una dualidad de análisis. Analizar el movimiento como un deslizamiento de arcillas o un movimiento de coluviones (masa incoherente de materiales sueltos y heterogéneos de suelos o fragmentos de roca depositados por lavado de la lluvia, reptación o deslizamiento, los cuales comúnmente se depositan en la base de las laderas, una mezcla de fragmentos angulares y materiales finos).⁵²

Las arcillas poseen una característica que controla su comportamiento frente al agua y su inestabilidad, esta característica se denomina como Capacidad de intercambio catiónico, el cual depende de los minerales que forman dicha arcilla. A mayor capacidad es más inestable.

Los valores de límite líquido y límite plástico nos ayudan a relacionar que tipo de mineral contiene el material en estudio, para nuestro caso en particular, los valores de límite líquido y límite plástico oscilan entre 30-100 % y 25-40%, respectivamente, ya sea dentro de la zona del movimiento como fuera de los límites de éste, con lo que podemos decir que existe una gran cantidad de Caolinita con un mili-equivalente por 100 gramos de 3-15 en capacidad de intercambio catiónico. En la tabla 4.52 se muestran los diferentes valores de capacidad de intercambio catiónico en los diferentes minerales de arcillas y en la tabla 4.53 la relación que tienen los minerales de arcilla con respecto al límite plástico y límite líquido de la muestra⁵³.

⁵² La presencia de coluviones es un indicativo de inestabilidad, evidencia de que ha ocurrido deslizamientos en el pasado.

⁵³ Deslizamientos: Análisis Geotécnico. Jaime Suarez, pág. 343.

Arcillas	Capacidad de intercambio catiónico en mili-equivalentes por 100 gramos
Caolinita	3-15
Aloisita- 2H ₂ O	5-10
Aloisita- 4H ₂ O	10-40
Illita	10-40
Esméctica	8-150

Tabla 4.52 Capacidad de intercambio catiónico en minerales de arcilla.

Arcillas	L.L. %	L.P. %
Caolinita	30-100	25-40
Aloisita- 2H ₂ O	35-55	30-45
Aloisita- 4H ₂ O	50-70	47-60
Illita	60-120	35-60
Esméctica Motmorillonita	100-900	50-100

Tabla 4.53 Relación de límites de plasticidad para los minerales de la arcilla.

Vale aclarar que esta relación no es 100% exacta, ya que ningún material se encuentra en estado puro, existen combinaciones de material de acuerdo a la geología de la zona, para determinar qué cantidad exacta de mineral existe en dicha arcilla, es necesario utilizar métodos como el análisis termogravimétrico, entre otros.

Otra forma de comparar los resultados obtenidos en laboratorio con la mineralogía del suelo es a través de su gravedad específica, que además de ayudarnos a calcular las relaciones gravimétricas y volumétricas del suelo, Braja M. Das en su libro Fundamentos de Ingeniería Geotécnica pág. 7, afirma que la mayoría de los minerales tienen una gravedad específica dentro de un rango general de 2.6 a 2.9, y se puede ver en la Tabla 4.54 la gravedad específica de algunos minerales comunes encontrados en los suelos.

Mineral	Gravedad Específica
Cuarzo	2.65
Caolinita	2.6
Illita	2.8
Motmorillonita	2.65 – 2.80
Aloisita	2.0 - 2.55
Feldespato de Potasio	2.57
Feldespato de Sodio y Calcio	2.62 – 2.76
Clorita	2.6 – 2.9
Biotita	2.8 – 3.2
Moscovita	2.76 – 3.1
Hornablenda	3.0 – 3.47
Limonita	3.6 – 4.0
Olivino	3.27 – 3.37

Tabla 4.54 Gravedad específica de minerales importantes.

Con respecto a la relación de vacíos, se puede observar un índice de poros de 1.29 dentro de la zona del movimiento y un valor de 1.55 fuera de la zona del movimiento, valores dentro del parámetro que sugiere Juárez Badillo en su libro de Mecánica de Suelos, pág. 54, el cual asevera que en la práctica no suelen encontrarse valores menores de 0.25 (arenas muy compactas con finos) y mayores de 15, en el caso de arcillas altamente compresibles.

La geología de la zona, está constituida en su mayoría por Rocas Ígneas Extrusivas, en los cuales la combinación de cementación débil, pobre consolidación, alta porosidad y saturación, hace que estos materiales sean especialmente vulnerables. Esto tiene sentido al ver que la Porosidad promedio de nuestro material se encuentra al 56.06% adentro de la zona del movimiento y de 59.67% afuera del movimiento; y el grado de saturación al 86.46% adentro y 85.23% afuera del movimiento, por la cual el suelo genera presión de poros en la aplicación de cargas y se disminuye la resistencia, llevando esto a un deslizamiento.

El contenido de humedad nos sirve, aparte de calcular las relaciones gravimétricas y volumétricas junto a la gravedad específica; para deducir el grado catastrófico del movimiento, esto se hace a través del llamado Índice de movilidad, que no es más que la relación del contenido de humedad en estado saturado con el límite líquido, a través de la siguiente ecuación⁵⁴:

$$\text{Índice de Movilidad} = \frac{\text{Humedad del suelo saturado}}{\text{Límite líquido}} \quad (\text{Ec. 4.1})$$

Para nuestro caso en particular, el límite líquido es mayor que el contenido de humedad en estado saturado, por lo que el índice de movilidad da como resultado que el movimiento no pasaría de deslizamiento de masa a un flujo de lodo.

4.6.2.3 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO.

En suelos arcillosos la prueba de mayor interés realista es la Compresión Triaxial, no obstante, se realizó el Corte Directo para tener mayor número de parámetros de las propiedades del suelo, además en el caso que la calidad de la muestra no permitiera realizar la prueba de Compresión Triaxial, se pueden obtener los resultados a través del Corte Directo.

Al analizar los resultados, se puede observar la diferencia del ángulo de fricción interna (ϕ) entre ambos ensayos, ya que el ensayo de compresión Triaxial tiene mayor sensibilidad para detectar cambios en la resistencia al cortante.

Los valores promedio de “c” y “ ϕ ” dentro de la zona del movimiento no expresan la resistencia pico al cortante en los suelos, éstos expresan la resistencia residual debido a que son resultados obtenidos de muestras extraídas en momento de post deslizamiento, no obstante, los valores promedio obtenidos de las muestras extraídas afuera de la zona del movimiento no son tan diferentes que los obtenidos en las muestras extraídas adentro del movimiento, por lo que podemos analizar un promedio de ambos, lo que nos lleva a un ϕ residual de 9.62°.

⁵⁴Deslizamientos: Análisis geotécnico. Jaime Suarez, pág. 384.

El valor de ϕ pico por lo general oscila en un rango de 20° a 30° , el valor de ϕ residual por efecto del índice de plasticidad de las arcillas, se reduce hasta un valor de 9° , demostrando la coherencia de ésta teoría con los resultados obtenidos en el laboratorio; esto se aplica para explicar que los taludes fallados pueden mantenerse en pie.

Los valores de ϕ residual también se pueden relacionar con los minerales arcillosos que posee el suelo de la siguiente manera⁵⁵:

Arcilla	Ángulo de Fricción Residual
Caolinita	12° a 22°
Illita	6.5° a 11.5°
Esméctica	4° a 11°

Tabla 4.55 Ángulos de Fricción comunes en los suelos.

4.6.3 ESTUDIO HIDROLOGICO.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio hidrológico, se consigna que esta es una cuenca de dimensión pequeña (2.01 km^2). Por tanto se nombra micro cuenca. El área de la ladera inestables dentro de la micro cuenca es de 6.08% de la superficie total de ésta⁵⁶, el drenaje de la cuenca no pasa por la ladera pero la hace parte del sistema hídrico porque esta entro de la cuenca.

Según el resultado de la densidad de drenaje siendo de 3.16 Km/km^2 , relación que está en función de la longitud total de los cauces y el área de la micro cuenca, unido con la pendiente indican que el sistema de drenaje evacuará de forma regular el agua proveniente de fuertes lluvias, descartando las posibilidad de inundaciones dentro de la micro cuenca.

El patrón de drenaje de la micro cuenca es drenaje dendrítico, esto se debe a que en la mayoría de los arroyos son cortos, se reúnen con el cauce principal trazando ángulos agudos, con unión en “Y”, la formación de este modelo de drenaje se debe a la homogeneidad de la capa del subsuelo, pendiente moderada; esta permite que durante una tormenta el volumen de agua escurrida, se concentre en el punto de control.

⁵⁵ Deslizamientos: Análisis geotécnico. Jaime Suarez, pág. 344.

⁵⁶ Ver ANEXO 53

La pendiente media de la cuenca siendo de 38.9 %, esto hace de la cuenca una área propensa a generar deslizamientos, esto según la tabla presentada en el documento memoria técnica para el mapa de susceptibilidad de deslizamientos de tierra en el salvador, pendiente del rango de 30.1-50.0 %, tiene un calificativo mediano a generar deslizamientos (ver tabla 4.56).

Pendiente %	Pendiente en grados	Calificativo
0 – 7.5	0 – 4.29	Muy Bajo
7.6 – 17.5	4.30 – 9.93	Bajo
17.6 – 30.0	9.94 – 16.70	Moderado
30.1 – 50.0	16.71 – 26.57	Mediano
50.1 – 80.0	26.58 – 38.66	Alto
> 80.1	>38.66	Muy Alto

Tabla 4.56 Calificativo a susceptibilidad a deslizamiento por el relieve. Fuente: SNET.

La micro cuenca posee una elevación media de 685.7 m.s.n.m y por su relieve, hace de esta, una zona en donde por el enfriamiento y consiguiente condensación de vapor de agua en las masas de aire que al chocar con una ladera asciende por ella, propiciando incrementos en las precipitaciones convectivas, hay zonas sensiblemente más húmedas (arroyos, lagunas), favoreciendo que el suelo se mantenga en constante saturación en época de invierno.

El factor de compacidad ($K_c = 1.28$) indica una micro cuenca de forma ovalada redonda.

De acuerdo con los resultados proporcionados en el cálculo de los caudales de escorrentía superficial, siendo estos, tiempo de concentración, intensidad de diseño, y coeficiente de escorrentía, la micro cuenca tiene un tiempo de concentración de 9.2 minutos, esto nos indica que el agua es evacuada de esta, moderadamente, produciendo que el flujo incremente el fenómeno erosivo del suelo. Este hecho, unido a una pendiente media de la

cuenca de 38.9 %, y tipo de suelo, favorece la floración de nacimiento de agua o arroyo en todo la cuenca, estos se presenta en época de invierno.

La intensidad de diseño nos indica la presencia de lluvias fuertes a moderadas, estos, más la presencia de grietas en la zona del movimiento, nos hace suponer, que la mayoría del agua que cae, es infiltrada, agravando a un más el desplazamiento. Una de los factores que activa un movimiento, es el agua, esta hace que el suelo pierda la resistencia al corte, aumenta la presión de poros y sirve como un fluido lubricador en la superficie de falla.

El fenómeno por tener como fronteras a la quebrada, genera una mayor erosión en los taludes adyacentes, esto propiciaría que se dé una obstrucción en el flujo del cauce.

El caudal de escorrentía superficial que genera la micro cuenca de la quebrada Gualindo en el punto de control es de 58.77 m³/seg. y 64.18 m³/seg. Para periodos de retornos de 25 y 50 años respectivamente, la ladera en movimiento contribuye con un caudal de escorrentía superficial de 3.61 m³/seg y 3.94 m³/seg para los periodos antes mencionados (25 y 50 años), estos caudales se calcularon con un coeficiente de escorrentía (C= 0.49).

CAPITULO 5
MEDIDAS DE
PREVENCIÓN DE
RIESGOS

5.1 MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS.

Antes de comenzar a proponer las medidas de prevención de riesgos, es necesario indicar a las personas que están dirigidas, es decir, las personas que se encuentran en riesgo, para esto es necesario un análisis de vulnerabilidad, cabe mencionar que en esta investigación no se realizará dicho estudio, por lo tanto, estas medidas van dirigidas a las personas que se encuentran adyacentes al movimiento de laderas, y aquellas que pueda afectar en su recorrido ladera abajo, como también a las respectivas instituciones interesadas como lo es Protección Civil de Morazán, ADESCO de la comunidad y la Alcaldía Municipal. Para que estas conjuntamente con personal especializado puedan realizar estudios más profundos y tomar las decisiones y medidas que consideren adecuadas.

Hay que destacar que la comunidad de Gualindo Arriba posee una ventaja a su favor, la cual es su organización (ADESCO), ya que ésta aumenta las probabilidades de actuar organizadamente en un desastre.

Las medidas de prevención de riesgo las hemos dividido en tres partes:

- 1- Acciones que se deben tomar antes, durante y después de un deslizamiento.
- 2- Sistemas de monitoreo.
- 3- Medidas de estabilización.

5.2 ACCIONES QUE SE DEBEN TOMAR ANTES, DURANTE Y DESPUÉS DE UN DESLIZAMIENTO.

Hay que recordar, que la ejecución efectiva de las acciones, depende del acatamiento de las mismas, por la población.

5.2.1 ANTES.

Aquí se mencionan una serie de medidas que son necesarias tomar como parte de los procesos de prevención de riesgo. La parte de planificación es una de las más importantes, debido a que es en esta etapa donde se planean de forma ordenada por ejemplo: las rutas de escapes, lugares de albergue, avisos, etc.

5.2.1.1 ORGANIZACIÓN Y COMUNICACIÓN.

Lo primero y más esencial, es la organización de la comunidad, y la relación con todas las instituciones que puedan colaborar para evitar una tragedia, estas instituciones por orden de prioridad son: Alcaldía Municipal de Lolotiquillo, Protección Civil de Morazán, Universidades (UES, UNIVO, UGB, etc.), SNET, ONGs, Iglesias, etc. Con todas estas instituciones se pueden generar canales de comunicación y estas a la vez pueden apoyar en diferentes ramos como logística, equipos para remoción, ayuda en general, estudios, monitoreo, dinero para reconstrucción, transporte para evacuación, lugares de albergue, etc. Es de importancia elegir dentro de la comunidad un grupo de personas que se encarguen de diferentes tareas como por ejemplo: avisar a las autoridades en una emergencia, contactar a las personas que poseen vehículos, monitoreos, etc.

5.2.1.2 EDUCACIÓN.

Organizar charlas educativas, con la mayoría de población disponible, estas pueden tener contenidos, como por ejemplo: ¿Qué son los deslizamientos?, ¿Qué tipos hay?, ¿Por qué ocurren estos fenómenos?, ¿Qué medidas se pueden tomar para remediarlos?, ¿Los peligros que representan?; todos estos temas y muchos más deben de ser impartidos por personas

que tengan conocimientos sobre esto, y además de expresar esas ideas con un lenguaje que sea entendible por todas y todos.

5.2.1.3 INFORMACIÓN DISPONIBLE.

Recolectar toda la información técnica y científica realizada en la zona, y crear un grupo de técnicos para que revise estos insumos, y clasificarlos, por ejemplo: datos topográficos, datos hidrológicos, datos geológicos, etc. Verificar si faltan estudios necesarios que realizar, y si faltan, gestionarlos con las instituciones adecuadas, con estos datos se puede crear una base de estudios para procesos de monitoreo futuros.



Figura 5.1 Información que se puede obtener para comenzar la planificación.

5.2.1.4 RUTAS DE ESCAPE.

En esta investigación se propone dicha ruta de escape que consiste en la siguiente:

- 1- El lugar más estable y seguro es el casco urbano de Lolotiquillo.
- 2- Para evacuar el cantón Gualindo Arriba, existe dos rutas: una de ellas es seguir la calle que atraviesa el cantón y va a dar al puente recién construido saliendo por el desvió que nos lleva al casco urbano de Lolotiquillo y la segunda es la calle normal que va hacia el casco urbano de Lolotiquillo. La opción de elegir una u otra

dependerá de la ubicación de la vivienda con respecto al puente destruido y a la zona inestable.

- 3- Es importante hablar con los propietarios de vehículos grandes y pequeños para su colaboración para la pronta evacuación de todas las personas.

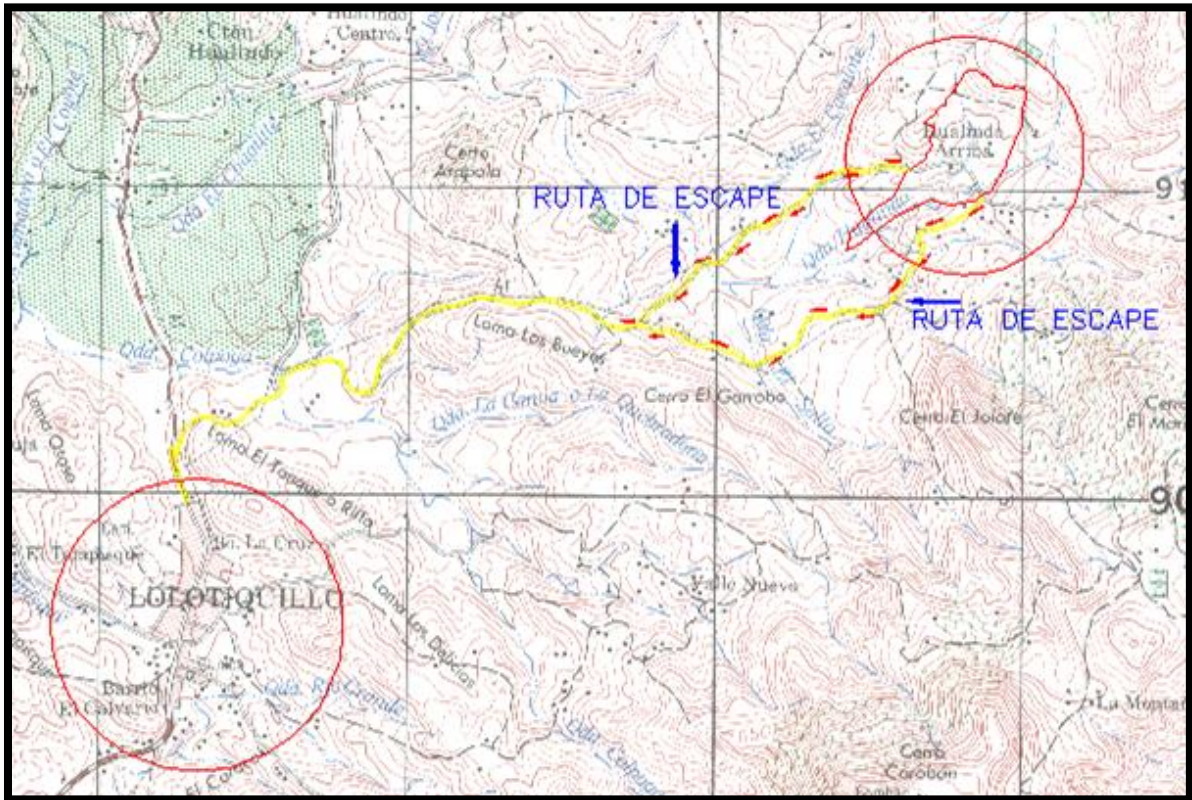


Figura 5.2 Posibles rutas de escapes plasmadas en el cuadrante.

5.2.1.5 LUGARES DE ALBERGUE.

Estos tienen que ubicarse en un lugar estable y sin ningún riesgo, sino no tiene sentido; estos pueden coordinarse con Protección Civil y la Alcaldía Municipal de Lolotiquillo, pueden servir por ejemplo: Casas Comunes, Escuelas Públicas y se puede Privadas, Iglesias, etc. La propuesta es los lugares del casco urbano de Lolotiquillo, ya que se cuenta con más servicios disponibles como de salud, agua potable, etc. Y es el lugar con más estabilidad aparente.

5.2.1.6 PLANIFICACIÓN.

Después de obtener todos los insumos, es decir, números telefónicos de autoridades, rutas de escape, señales de alerta, puntos de reunión, lugares de albergue, materiales y equipo, se puede realizar un plan en donde se expongan los diferentes puntos acordados, responsabilidades, recursos, metodologías, etc.

5.2.1.7 DIFUSIÓN.

Es importante que todas las personas del cantón, conozcan cuáles son los acuerdos tomados, los puntos de reunión, las rutas de escape, todo lo que se halla planificado. Para no tener inconvenientes a la hora de la ejecución de estos planes. Otro punto importante incluida en la difusión es tener señales que indique una emergencia, una propuesta son los pitos, es decir que cada familia posea un pito y lo haga sonar en una emergencia, con el objetivo de delatar su presencia y ubicación y también avisarle a las demás personas sobre la emergencia.

5.2.2 DURANTE.

En el lugar, es poco probable que ocurra un movimiento de velocidades rápida, ya que posee pendientes bajas que no favorecen a deslizamientos del tipo rápidos, aunque en los escarpes de la quebrada Gualindo, se dan pequeños flujos debido a la erosión de los mismos, pero es necesario tomar en cuenta ciertas medidas que ayuden en un fenómeno como de velocidad rápida, a continuación se enumeran ciertas medidas que se pueden considerar:

- 1- La persona encargada deberá avisar inmediatamente a las autoridades (Protección Civil de Morazán, Alcaldía Municipal de Lolotiquillo, etc.).
- 2- Evitar el pánico, es su principal enemigo, y tratar de respetar los planes de evacuación diseñados en las etapas posteriores.
- 3- Si cuenta con algunos segundos, aprovéchelos y proceda a la evacuación.
- 4- Si es posible ayude a niños, ancianos, minusválidos y personas nerviosas.

- 5- Si puede ser víctima de un deslizamiento gradual o relativamente lento no deje para última hora la evacuación.
- 6- Procure advertir a todos sus vecinos sobre el peligro utilizando los métodos asignados anteriormente, que por ejemplo puede ser un pito.
- 7- No intente cruzar el área afectada.

5.2.3 DESPUES.

Es necesario tomar medidas preventivas después de ocurrido un movimiento de laderas y aquí se presentan algunas de ellas:

- a- Antes de regresar al lugar donde se presentó el deslizamiento, hay que esperar a que se realice una valoración técnica y no correr riesgos innecesarios.
- b- Identificar si existe otra infraestructura afectada o en peligro (tendido eléctrico, viviendas, etc.) y notificarlo inmediatamente, para que sea cuantificada o si la situación lo permite, aminorar el riesgo.
- c- Revisar el cauce de las quebradas para determinar si hay represamiento del caudal; esto puede causar flujos tomando como canal al cauce del río. Si lo hay, notificarlo de inmediato a las autoridades competentes.
- d- No mueva a personas lesionadas a no ser que estén en peligro de sufrir nuevas heridas.
- f- Si es posible colabore en las labores de rescate.
- h- Si usted no ha sufrido daños sea solidario, preste alojamiento temporal a un afectado.
- i- Acate las instrucciones dadas por las autoridades y organismos de socorro.

Estas medidas solo son algunas que pueden evitar desgracias, cabe mencionar que estas deben ejecutarse en perfecta coordinación con las autoridades competentes, y por eso se hace hincapié en que todas las instituciones junto con la comunidad participen del proceso de planificación, es decir, el antes del fenómeno, para que de esta manera todas las autoridades estén atentas a cualquier alerta.

5.3 SISTEMAS DE MONITOREO.

Antes de diseñar cualquier programa de monitoreo, se requiere tener claridad sobre las causas del deslizamiento y los límites probables del movimiento en cuanto a profundidad y extensión en planta. Adicionalmente, se requiere conocer la geología, el sistema de lluvias, etc., lo cual equivale a tener avanzado el estudio del deslizamiento, en un gran porcentaje.

Previamente a la instalación de los instrumentos, se deben haber planteado los probables mecanismos de falla. Lo que se pretende con un programa de monitoreo, es corroborar la validez o no, de las teorías propuestas y la cuantificación de ciertos parámetros y procesos.

Es por estas condiciones, que no se puede proponer un programa completo de monitoreo para el cantón Gualindo Arriba, ya que faltan estudios importantes en el lugar, como por ejemplo: un estudio geológico completo y también estudios de agua subterránea, encontrar y caracterizar la superficie de falla. Por lo tanto solamente se proponen ciertos instrumentos que son de importancia en la recolección y monitoreo de datos.

5.3.1 MONITOREO TOPOGRAFICO.

El control topográfico se realiza a través de mediciones de desplazamientos relativos de ciertos puntos de control superficial, identificados en el campo, los cuales se determinan respecto de unos mojones construidos en terreno estable (fuera del área de influencia de los deslizamientos bajo monitoreo). Es importante debido a que se puede determinar la velocidad y magnitud del movimiento de laderas. Es de suma necesidad realizar las mediciones con el mismo aparato y si es posible el mismo operario para reducir los errores.

5.3.1.1 BANCOS DE MARCA FIJOS.

Estos son colocados para medir los desplazamientos del área en general, se deben colocar en una zona identificada como estable; la cual puede ser un cerro cercano o un afloramiento de piedra. Según Jaime Suarez Díaz en su libro Deslizamientos-Análisis Geotécnico, propone colocarlos a una distancia que es igual al 25% de la parte más ancha del movimiento, esta distancia medida desde los escarpes laterales. A parte de los bancos de

marca fijo se deben colocar ejes transversales al movimiento en los cuales se inserten varillas de acero, para ir midiendo su desplazamiento en el tiempo y así poder conocer su velocidad.

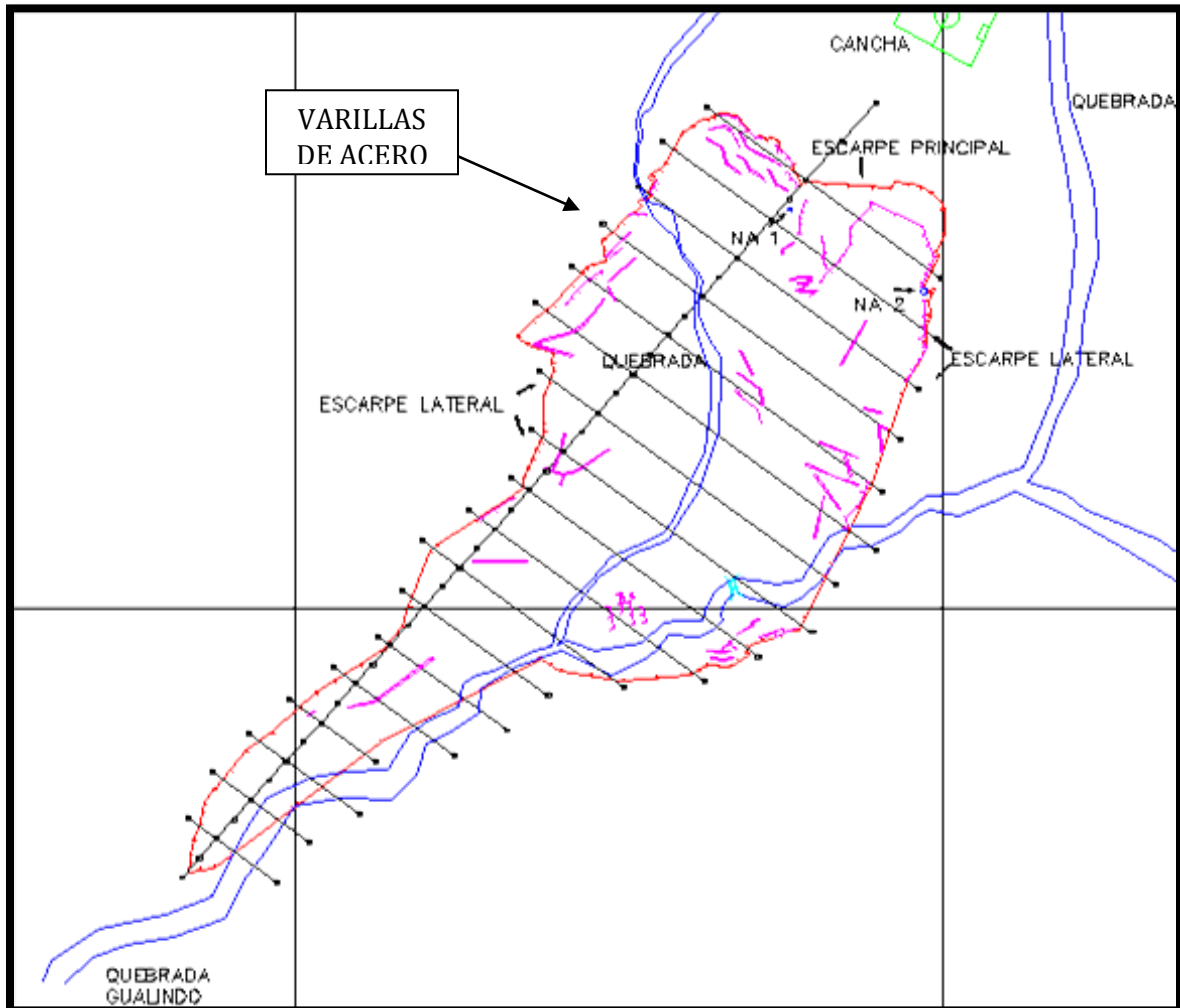


Figura 5.3 Posible colocación de varillas fijas dentro y fuera del movimiento de laderas.

5.3.1.2 DGPS (SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL DIFERENCIADO).

También se pueden recolectar datos muy buenos acerca de los movimientos de tierra con los GPS diferenciados.

El DGPS se está utilizando con frecuencia para monitorear los movimientos superficiales de deslizamientos. Una estación base, en un sitio conocido, se utiliza para hacer las

correcciones y refinamientos de una o varias estaciones móviles. Todas las estaciones emplean el mismo sistema satelital.

El DGPS relaciona observaciones a estaciones móviles desconocidas, con observaciones simultáneas en la estación base conocida. A medida que las señales son monitoreadas, los errores pueden sugerir que la estación base se está moviendo, pero lo que realmente está ocurriendo, son los movimientos de las estaciones móviles. Todas las mediciones se relacionan a la estación base. Mientras la posición sea definida en forma relativamente precisa, los otros movimientos internos serán consistentes.

Un valor asumido de latitud y longitud puede ser utilizado sin afectar la calidad de las mediciones internas. En condiciones favorables, se consigue una precisión mejor que un centímetro; sin embargo, la precisión de DGPS puede deteriorarse considerablemente donde la superficie del terreno está cubierta de árboles o en épocas de condiciones climáticas desfavorables.



Figura 5.4 GPS diferencial.

Otros parámetros de los deslizamientos como por ejemplo, las grietas, los escarpes, nacimientos de agua, calles, infraestructura, obras de paso, etc. Se pueden levantar topográficamente de los bancos de marca fijos.

5.3.2 MONITOREO DEL AGRIETAMIENTO SUPERFICIAL.

Generalmente los métodos topográficos son adecuados para el monitoreo superficial y generalizado del movimiento de una masa térrea. Sin embargo, cuando se requieren mediciones locales, tales como para conocer la evolución de un agrietamiento, se pueden recurrir a éstas directamente, o bien con métodos mecánicos o eléctricos de instrumentación geotécnica, como los que se describen posteriormente.

5.3.2.1 MEDIDOR DE VERTICALIDAD.

La medición de la verticalidad es útil para determinar la deformación de la cabeza y en ocasiones, del pie del movimiento y de esta forma, evaluar la posibilidad de deformaciones futuras. El equipo consiste de un nivel de agua capaz de medir las componentes NS y EW.

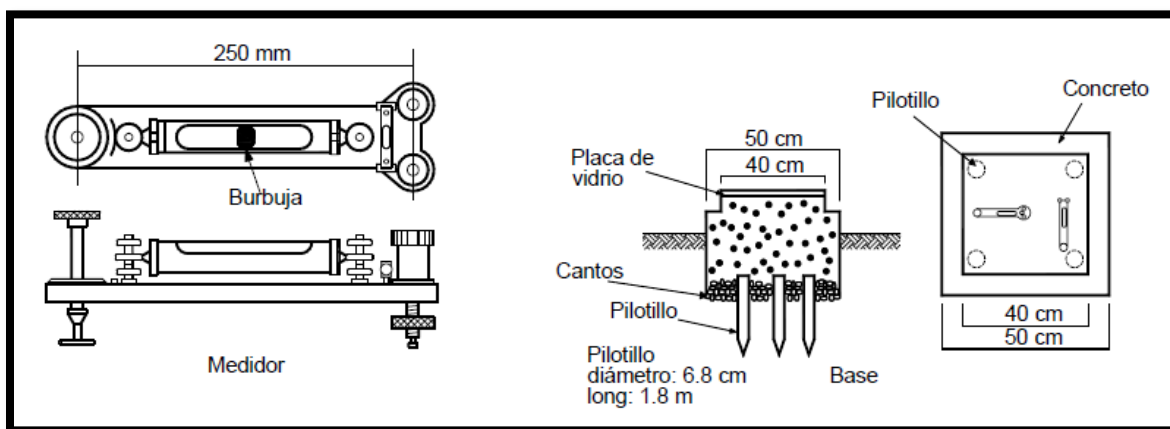


Figura 5.5 Medidor de verticalidad.

5.3.2.2 DETECTOR DE AGRIETAMIENTOS.

Sirven para medir la ampliación de grietas o extensiones horizontales, con el transcurso del tiempo. En las rocas el cambio de espaciamiento de las juntas se puede medir con este sistema.

Generalmente, se colocan dos guías mayores, o marcas, a lado y lado de la grieta y periódicamente, se toman medidas de su separación. Un sistema común es la colocación de unos elementos en madera a ambos lados del movimiento, unidos por un elemento que

permita la medición de las deformaciones (Figura 5.6). En ocasiones, se utiliza una placa de vidrio, la cual se rompe si ocurre un movimiento.

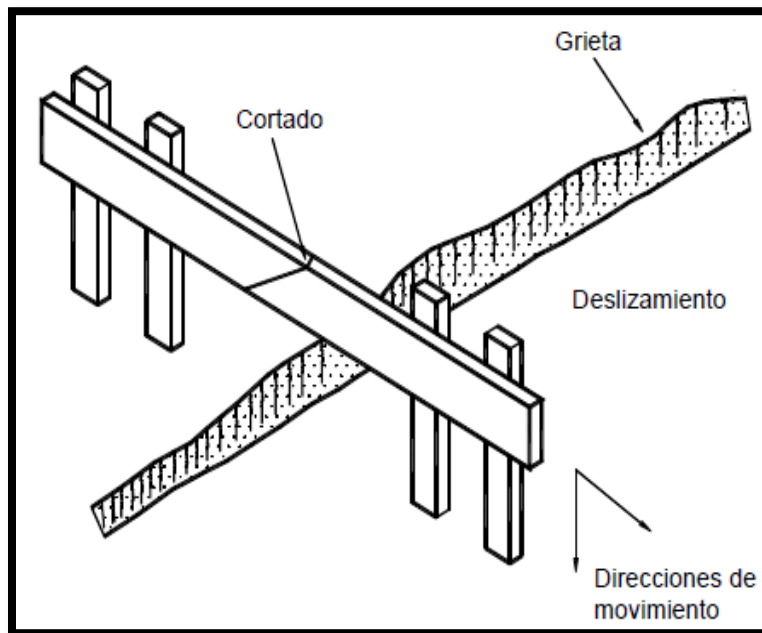


Figura 5.6 Equipo sencillo en madera para medir los desplazamientos.

5.3.2.3 DISPOSITIVOS BASADOS EN ALAMBRES Y POLEAS.

El monitoreo de la separación y progreso de grietas puede resultar bastante útil para definir si una ladera o talud se encuentra en un estado de falla inminente. Una técnica alternativa a los procedimientos antes descritos, consiste en colocar dispositivos basados en alambres y poleas que se pueden integrar a un sistema de alarma, el cual es activado cuando se alcanza un desplazamiento previamente establecido en una regleta graduada. Resulta particularmente útil cuando la zona por monitorear es de difícil acceso, o se encuentra en zonas francamente peligrosas, y donde se requiere monitorear al avance de grietas de manera permanente.

Sólo se debe cuidar que el material con el que se construya el dispositivo sea resistente a las condiciones ambientales de la zona; y su mantenimiento debe estar orientado a mantener en óptimas condiciones el sistema de disparo y el sistema de alarma.

Actualmente existen técnicas muy sofisticadas de comunicación a distancia que pueden integrarse a este sistema de monitoreo.

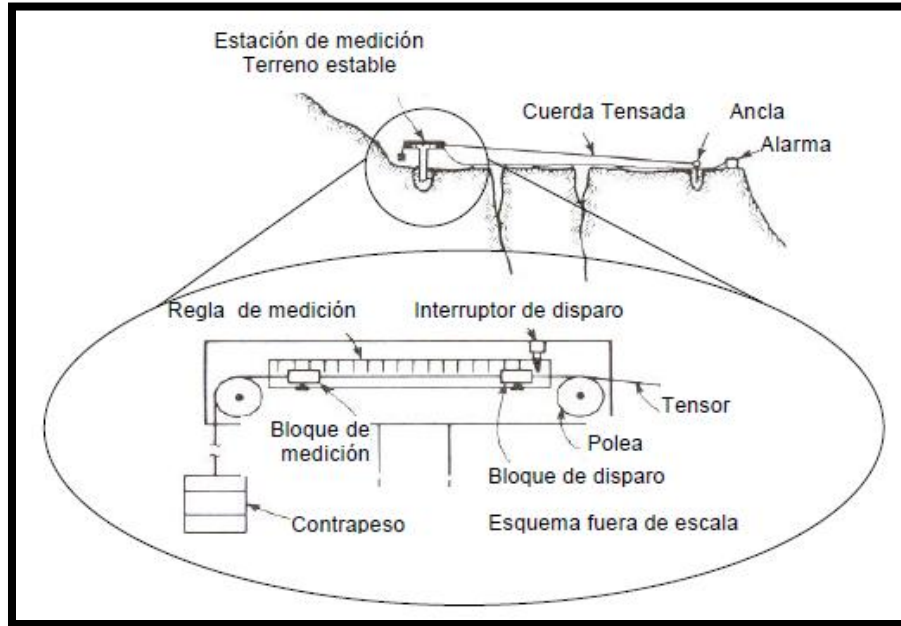


Figura 5.7 Monitoreo de grietas en el hombro de laderas inestables mediante dispositivos basados en regletas, alambres y poleas.

5.3.2.4 INCLINOMETROS.

Los inclinómetros se pueden utilizar prácticamente en cualquier tipo de terreno, desde suelos duros o firmes, hasta suelos blandos. Su utilización permite detectar con precisión la profundidad de los movimientos laterales del terreno respecto a un eje vertical. Esta técnica requiere la perforación de un pozo de 4" de diámetro, a lo largo del cual se instalan tubos de inclinómetro de 3" de diámetro, los cuales cuentan con cuatro guías por su interior diametralmente opuestas, y perpendiculares entre sí. Al introducir una sonda electrónicamente instrumentada, es posible registrar las inclinaciones a diferentes profundidades en el plano vertical por donde pasan las guías, tal como se muestra en la Fig. 5.8. Al interpretar las inclinaciones que se registran entre los apoyos de la sonda, los que conservan una separación constante, es posible definir la configuración que adquiere ese tubo a esa profundidad. Las diferencias entre las configuraciones que se registren en posteriores mediciones respecto a la inicial (usualmente no vertical), nos proporciona el desplazamiento lateral a la fecha, en el plano y a la profundidad correspondientes.

Para la toma de lecturas la sonda del inclinómetro se introduce en dos ocasiones, una por cada par de guías. En cada inmersión a lo largo de los tubos se realiza un barrido de lecturas que generalmente se hacen de abajo hacia arriba, y a cada 50 cm. En la mayoría de los casos los tubos de inclinómetro se fabrican de PVC y en tramos de 1.5 ó 3 m, Fig. 5.9, aunque también se usan de aluminio. Cada tramo se une con un cople de 20 a 30 cm de longitud, mediante una conexión rápida, o bien con remaches que se efectúan en el campo.

La profundidad a la que se registra una inclinación se determina haciendo acompañar a la sonda de inclinómetro con una cinta métrica metálica, o bien marcando esas distancias en el cable de soporte y de señales electrónicas. Desde luego, la profundidad a la que se instalen los tubos, debe ser suficiente para detectar la posición de la superficie potencial de falla. Durante la instalación de los tubos de inclinómetro se debe procurar que el fondo quede perfectamente fijo en la masa de suelo, lo que permitirá referenciar los movimientos laterales del terreno respecto a la base fija. Ello requiere a su vez que el terreno en el que se fije la base de los tubos sea estable.

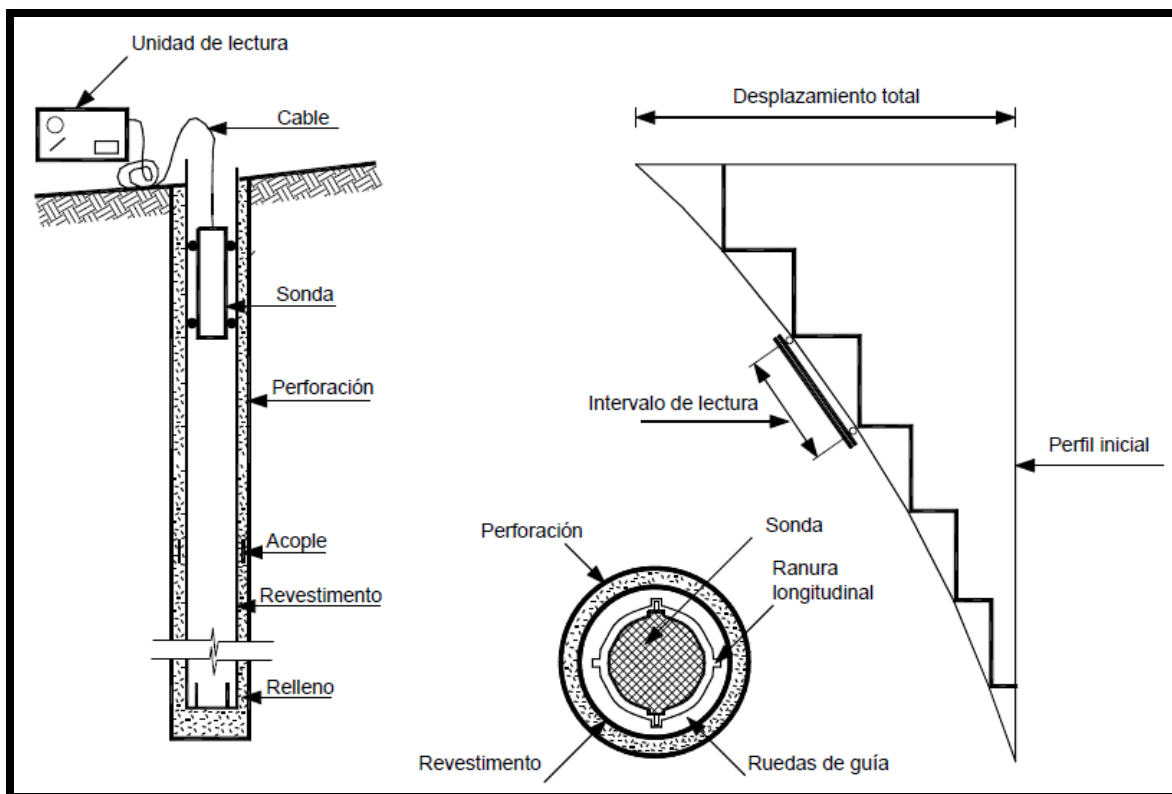


Figura 5.8 Esquema de un inclinómetro.

Los inclinómetros permiten obtener la siguiente información:

- La profundidad de los movimientos del deslizamiento.
- La localización y forma de la superficie de falla.
- El espesor de la zona de corte, generalmente, tiene espesores entre 30 centímetros y 1.5 metros, la cual se requiere medir especialmente para el diseño de los pilotes al cortante, de esta manera, seleccionar muestras para ensayo de laboratorio y localización de otros tipos de instrumentación.
- La cantidad de desplazamiento, con relativa precisión.
- La rata o velocidad del movimiento para obtener factores estáticos de seguridad, para medir la variación en rata con las lluvias y otros elementos, o para confirmar la efectividad de una medida de mitigación o estabilización.
- La dirección del movimiento. Esta dirección puede ser obvia en la mayoría de los deslizamientos, pero no es fácil determinar cuando ocurren movimientos diferenciales, debido a los cambios de la superficie de falla u obstrucciones en el sitio.



Figura 5.9 Sonda de un inclinómetro.



Figura 5.10 Vista de un inclinómetro y de su equipo de medición en la superficie.

5.3.2.5 REFLECTOMETRIA (TDR).

En el sistema TDR se coloca un cable coaxial dentro del deslizamiento y se ensaya el cable enviando pulsos de voltaje en forma de ondas, las cuales se reflejan. La medición de la reflexión permite identificar roturas o esfuerzos en el cable.

El sistema TDR requiere de mediciones para determinar las condiciones del cable a través del tiempo. El movimiento del terreno deforma el cable y cambia la impedancia de éste. El cambio en la impedancia puede ser monitoreado para localizar la superficie de falla y los movimientos del terreno. Los cables coaxiales que se utilizan en el sistema TDR tienen una impedancia característica, determinada por el espesor y el tipo de material aislante.

El material aislante puede ser hecho de cualquier material no conductor como PVC, teflón, o aire. Si el cable se deforma, la distancia entre el conductor interno y el externo cambia y por lo tanto, cambia la impedancia en ese punto. El medidor de TDR determina la localización de las deformaciones a lo largo del cable. El sistema TDR tiene una gran

cantidad de ventajas sobre los inclinómetros. Generalmente es más económico, las mediciones son más rápidas y más sencillas.

Entre las desventajas del sistema TDR se encuentra que no es posible determinar la dirección y la magnitud de los movimientos; sin embargo, la tecnología del sistema podría mejorar en el futuro.

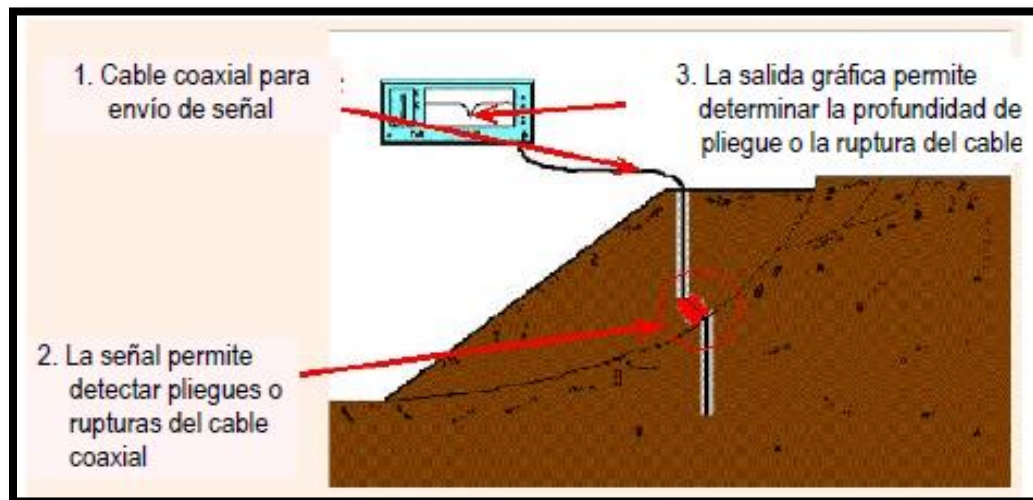


Figura 5.11 Funcionamiento de la reflectometría.

5.3.3 MONITOREO HIDROLOGICO.

Uno de los factores naturales más importantes que ocasionan la inestabilidad de laderas son las lluvias intensas y prolongadas. La medición del régimen pluviométrico proporciona elementos para conocer las posibles causas de la inestabilidad de laderas de una manera temprana, y así reducir sus efectos.

La importancia de exponer los principios pluviométricos se debe a que la lámina de lluvia en una tormenta llega a tener variaciones importantes en distancias cortas, por lo que es necesario instalar una cantidad considerable de pluviómetros, posiblemente algunos automatizados y otros contruidos de manera austera con el material disponible.

5.3.3.1 PLUVIOMETROS.

El pluviómetro consiste comúnmente en un recipiente cilíndrico de lámina de acero con aproximadamente 20 cm de diámetro y 60 cm de altura. La tapa del cilindro es un embudo receptor, el cual conduce el agua hacia una probeta de sección transversal diez veces menor que la de la tapa.

La forma del pluviómetro permite medir la altura de la lluvia en la probeta con una aproximación hasta décimos de milímetro, ya que cada centímetro medido en la probeta corresponde a un milímetro de altura de lluvia; para medirla se saca la probeta y se introduce una regla graduada, con la cual se toma la lectura; generalmente se acostumbra hacer una lectura cada 24 horas.



Figura 5.12 Medición de la cantidad de agua en un pluviómetro.

5.3.3.2 PLUVIOGRAFOS.

Cuando el equipo mencionado usa un registrador automático para medir constantemente la lámina en intervalos tan pequeños como un minuto de duración se llama pluviógrafo. Para ello, al equipo se le incorpora un sensor que convierte la intensidad o nivel de la lluvia en una señal medible. El pluviógrafo común lleva un registro de altura de lluvia contra tiempo, cuyo mecanismo está constituido por un embudo receptor que está ligado a un sistema de flotadores, los cuales originan el movimiento de una aguja sobre un papel registrador montado en un sistema de reloj. Como el papel registrador tiene un cierto rango en cuanto a la altura de registro, una vez que la aguja llega al borde superior automáticamente regresa al borde inferior y sigue registrando.

Utilizando el pluviógrafo se conoce la intensidad de precipitación, i , que se define como la altura de precipitación, h_p , entre el tiempo en que se origina, D_t .



Figura 5.13 Pluviógrafo.

5.3.3.3 PIEZOMETROS.

En la mayoría de los países del mundo a los equipos que permiten medir la presión de poro positiva in-situ, se les conoce como piezómetros. Al igual que los tensiómetros, los piezómetros son dispositivos que se instalan en el interior de la masa de suelo. Existen varios tipos de piezómetros, de entre los que pueden distinguirse tres grupos principales: de tubos abiertos, neumáticos y electrónicos.

Los piezómetros generalmente se colocan dentro de un bulbo poroso confinado en su base y lateralmente por el propio suelo, y en su parte superior, mediante un sello formado artificialmente. Este método de instalación permite que los piezómetros sólo respondan a la presión del agua que se trasmite al bulbo poroso en el que se aloja el dispositivo de medición, y no a presiones de agua correspondientes a otras elevaciones. El sello impide la comunicación del dispositivo con el agua que se puede acumular en la perforación realizada para su instalación.

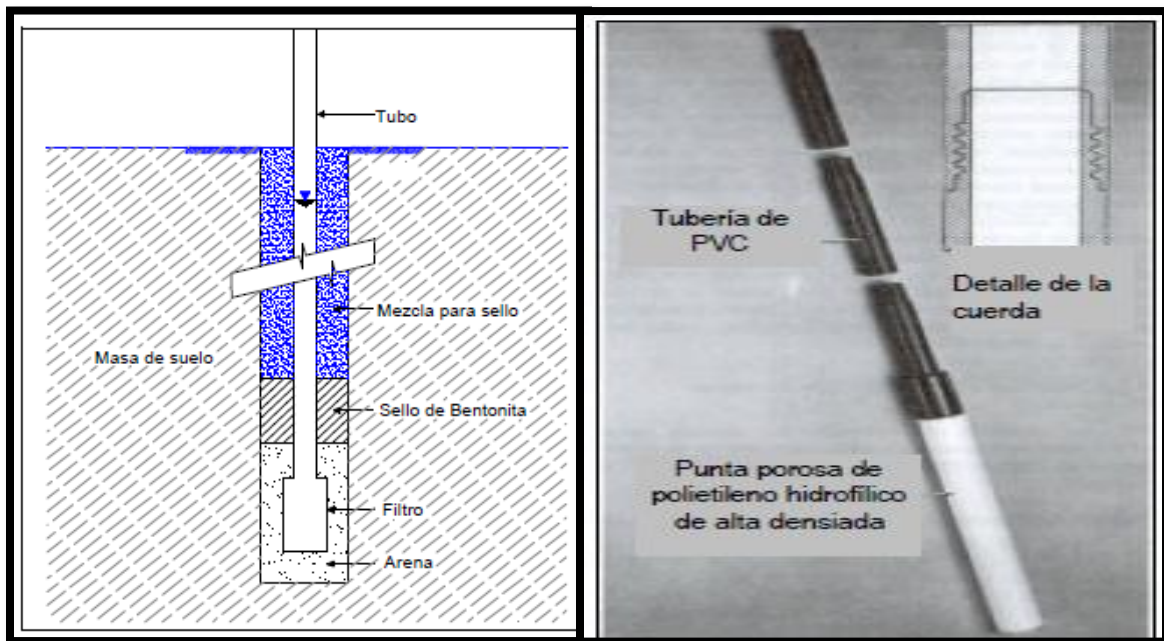


Figura 5.14 Esquema de un piezómetro de tubo abierto tipo Casagrande y de tubo abierto tipo Casagrande con punta porosa plástica.

5.3.3.4 TENSIOMETROS.

Los tensiómetros miden la presión de poros negativa en materiales no saturados y generalmente, son capaces de medir presiones desde cero hasta menos una atmósfera.

El instrumento tiene una piedra porosa de entrada de aire en un extremo de un tubo metálico lleno de agua. Una válvula de vacíos se coloca al otro extremo del tubo. Cuando la punta porosa está en contacto con el suelo, existe una tendencia del agua a salir del tubo y entrar al suelo. El potencial de salida de agua del tubo es una medida de la succión o presión negativa.

Típicamente, un tensiómetro es instalado con la punta porosa a la profundidad de medida y el resto del tensiómetro queda sobre la superficie del terreno, pero en ocasiones, los tensiómetros son enterrados dentro del suelo (Figura 5.15).

Se requiere un mantenimiento permanente de los tensiómetros, especialmente durante los periodos secos en los cuales la entrada de aire produce difusión a través del agua.

Este aire debe ser removido para asegurarse que la presión medida por el transductor representa la presión real de poros en el suelo y no la presión del aire dentro del tubo (Suárez Díaz, 2000). Para medir la succión del suelo más allá del rango de los tensiómetros, se puede utilizar los sicómetros; no obstante, la precisión de los sicómetros es dudosa.

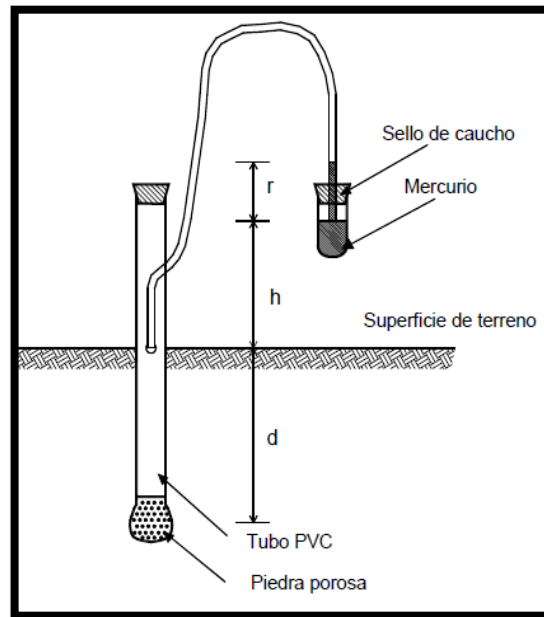


Figura 5.15 Esquema de un tensiómetro.

5.4 MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN.

Existen muchos sistemas de estabilización de laderas y taludes por ejemplo: revegetación y bioingeniería, control de drenaje, estructuras de contención de gravedad, conformación de la superficie, etc.

La elección de uno u otro sistema dependerá de las características del deslizamiento que se necesita estabilizar, por lo tanto requiere de estudios completos para elegir el sistema más adecuado para la remediación.

Sin embargo, no es posible la eliminación total de los problemas mediante métodos preventivos en todos los casos y se requiere establecer medidas de control o de remediación de los taludes susceptibles a deslizamiento o en los deslizamientos activos.

La estabilización de los deslizamientos en actividad o potencialmente inestables, es un trabajo relativamente complejo que requiere de metodologías especializadas de diseño y construcción. Cada sistema tiene su base teórica y sus procedimientos constructivos, por lo tanto queda fuera de los alcances de esta investigación proponer un sistema en particular

con planos y especificaciones, se hará una recopilación de información de ciertos sistemas que pueden ser efectivos en este deslizamiento en particular, y se obviarán otros que puedan no ser efectivos.

5.4.1 OBRAS DE DRENAJE Y SUBDRENAJE.

5.4.1.1 CONFORMACIÓN DEL TERRENO.

Consiste en la eliminación de pantanos o áreas de infiltración arriba de la corona o dentro del área del talud. Las acumulaciones de agua, pantanos, o zonas planas de infiltración de agua arriba de la corona o cresta del talud, deben drenarse para disminuir los volúmenes de agua infiltrados que pueden aumentar las presiones de poros en el talud. El objetivo es facilitar el drenaje sin realizar cortes ni rellenos de gran magnitud.

Esta técnica puede ser efectiva en la unidad morfológica B y en la zona coronaria ya que son los lugares que según los perfiles presentan zonas donde se puede acumular e infiltrar agua.



Figura 5.16 Conformación de la superficie para evitar empozamientos.

5.4.1.2 SELLADO DE GRIETAS.

La infiltración del agua de escorrentía por grietas o fisuras en el suelo, representa una causa frecuente de aceleración de los movimientos. Las grietas pueden sellarse o impermeabilizarse empleando suelo compactado, concreto, mortero, lechada de cemento o asfalto (Figura 5.17).

Generalmente, el sellado de las grietas es efectivo sólo a corto plazo, porque existe la tendencia a que se abran nuevamente y entonces, debe analizarse la posibilidad de drenar las grietas por medio de zanjas.

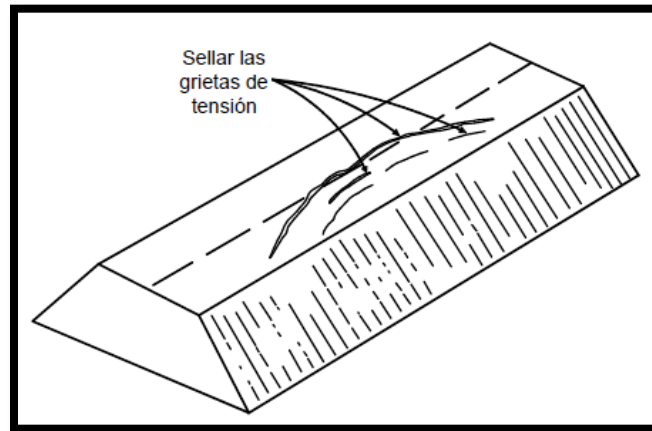


Figura 5.17 Se requiere sellar las grietas para impedir la infiltración que puede activar un deslizamiento.

Debido a que son muchas grietas las que hay en la zona deslizada, se necesita bastantes materiales para realizar este sellado, las más complicadas de sellar se encuentran en la zona morfológica C, ya que las pendientes son altas y de debido a estos la zona es mucho más inestable que las demás.

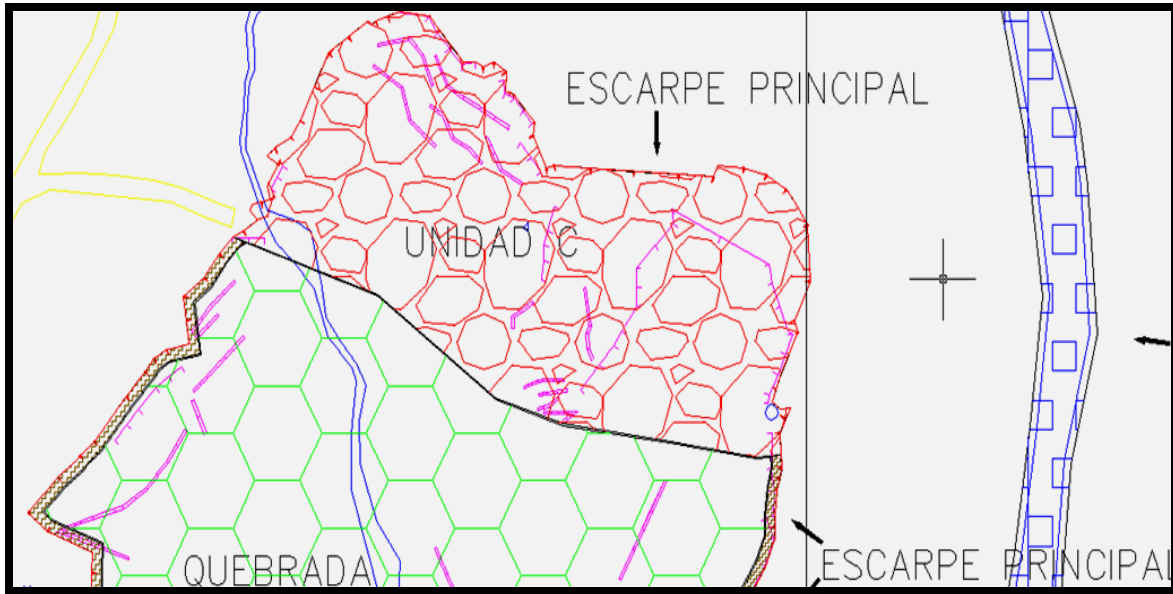


Figura 5.18 Zona morfológica C, donde se encuentran grietas combinadas con altas pendientes y el escarpe principal.

5.4.1.3 CANALES O ZANJAS DE DESVÍO DE LA ESCORRENTÍA.

Consisten en canales revestidos que recolectan y conducen las aguas de escorrentía. Cuando la escorrentía es la causa de la inestabilidad, es importante re-direccionarla para disminuir la amenaza. La redirección de la escorrentía puede realizarse con canales desviadores, trinchos o cortacorrientes.

ZANJAS DE CORONA.

Las zanjás en la corona o en la parte alta de un talud, son utilizadas para interceptar y conducir adecuadamente las aguas lluvias y evitar su paso por el talud. La zanja de la corona no debe construirse muy cerca del borde superior del talud para evitar que se convierta en activadora de un deslizamiento en cortes recientes; o en una nueva superficie de falla (movimiento regresivo) en deslizamientos activos; o se produzca la falla de la corona del talud o escarpe (Figura 5.19).

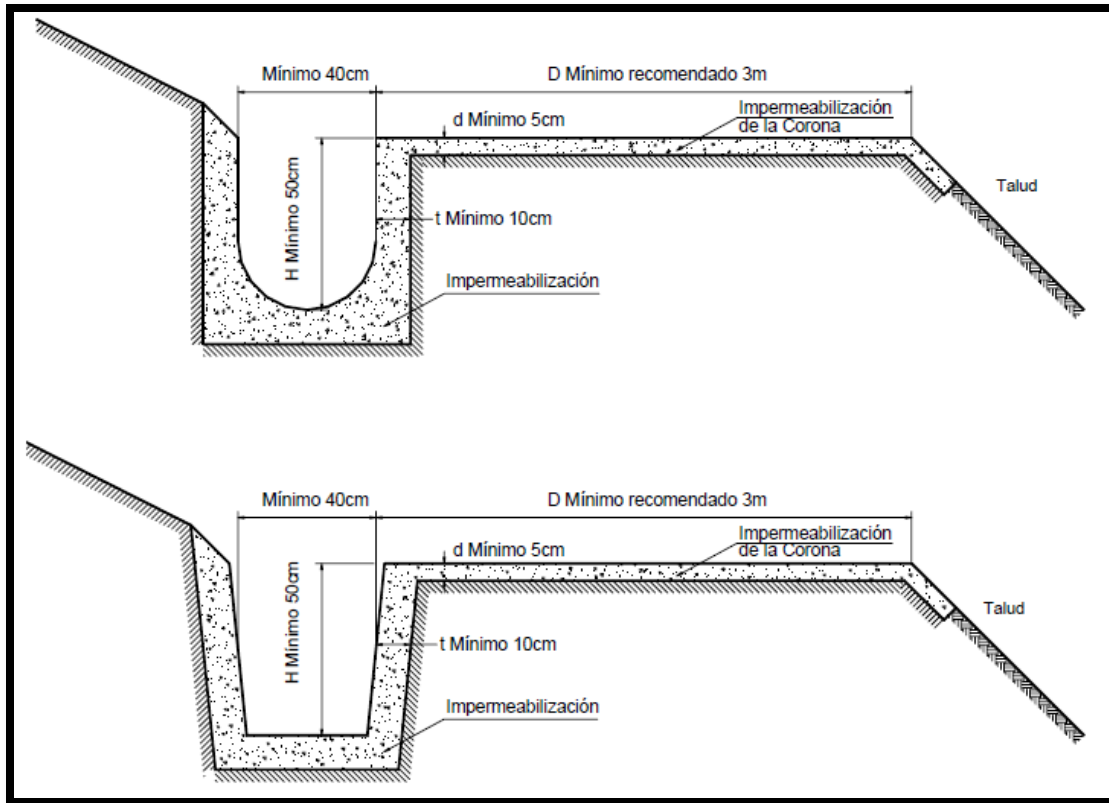


Figura 5.19 Detalle de zanjas de la corona para el control de las aguas superficiales en un talud.

Se recomienda que las zanjas de la corona sean totalmente impermeabilizadas; igual, se debe proveer una pendiente suficiente para garantizar un rápido drenaje del agua captada (Figura 5.20). Sin embargo, a pesar de lograrse originalmente una impermeabilización, con el tiempo se producen movimientos en el terreno, los cuales causan grietas en el impermeabilizante y por lo tanto, producen infiltraciones.



Figura 5.20 Sistema de canales prefabricados para el drenaje de los taludes.

La recomendación de la impermeabilización se debe complementar con un correcto mantenimiento. Se sugiere que al menos cada dos años, se deben reparar las zanjas de la corona para impermeabilizar las fisuras y las grietas que se presenten.

Las dimensiones y la ubicación de la zanja pueden variar de acuerdo con la topografía de la zona y el cálculo previo de los caudales colectados. Generalmente, para las áreas pequeñas de drenaje, se recomienda una zanja rectangular mínimo de 40 centímetros de ancho y 50 centímetros de profundidad. Se hace lo posible para que queden localizadas a lo largo de una curva de nivel, a fin de garantizar un correcto drenaje y que estén lo suficientemente atrás de las grietas de tensión en la corona.

La separación mínima recomendada, es de tres metros desde el borde de la corona. Para las áreas de drenaje de gran magnitud, se requieren canales con gran capacidad de conducción de agua.

CANALES COLECTORES EN ESPINA DE PESCADO.

Para disminuir la infiltración de agua en las áreas grandes arriba del talud, se construyen canales colectores en Espina de Pescado, los cuales conducen las aguas colectadas fuera de las áreas vulnerables del talud, entregándolas generalmente a los canales en gradería o torrenteras (Figura 5.21). Estos canales deben impermeabilizarse adecuadamente para evitar la reinfiltración del agua.

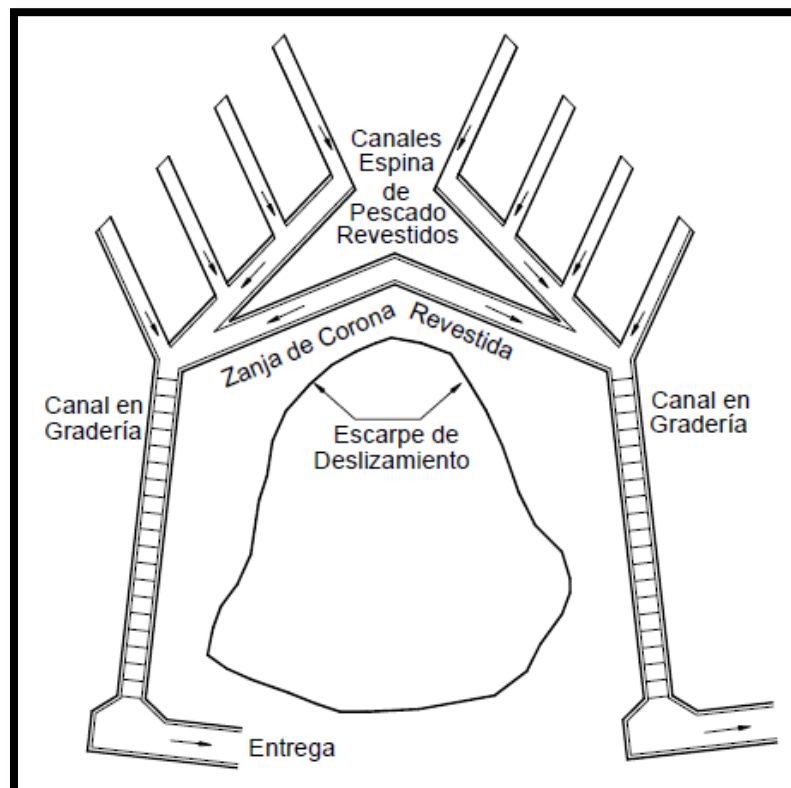


Figura 5.21 Esquema en planta de canales colectores Espina de Pescado.

5.4.1.4 TORRENTERAS.

El agua recogida por los canales e interceptores es entregada a los canales de alta velocidad, generalmente en la dirección del talud, lateralmente a la zona inestable, mediante estructuras de disipación conocidas como torrenteras.

Los canales deben conducirse a entregas, en gradería u otro disipador de energía, que conduzcan el agua recolectada hasta un sitio seguro. Se utilizan dos tipos de torrentera: el canal rápido y el canal en gradería, cada uno de éstos tiene varias posibilidades de metodología de disipación de la energía.

CANAL RÁPIDO.

El canal rápido se construye con una pendiente igual a la del talud, generalmente con forma de canal. A lo largo de las torrenteras se recomienda colocar elementos que produzcan alta rugosidad para generar flujo amortiguado y minimizar la velocidad del agua.

Este sistema de conducir las aguas recolectadas en un talud es muy empleado por ser el más económico. En sencillos modelos hidráulicos de laboratorio, se puede obtener el valor de rugosidad que se debe emplear de acuerdo con las características del flujo.

Es importante que los canales incluyan elementos o estructuras para disipar la energía del agua y de acuerdo con las necesidades de disipación y con las condiciones del flujo, se pueden plantear varias alternativas, entre las cuales se indican las siguientes:

Bloques de concreto o bloques de roca: Sobresalen en el fondo del canal y/o lateralmente; son elementos que bloquean el flujo y ayudan en el proceso de disipación de la energía del agua (Figura 5.22).



Figura 5.22 Torrentera en gradería con bloques de concreto.

Disipadores por rugosidad: Son canales rugosos que disipan energía, debido a la turbulencia causada por esa rugosidad. Comúnmente se construyen de piedra pegada con concreto o de elementos prefabricados (Figura 5.23).



Figura 5.23 Torrentera de elementos prefabricados.

5.4.1.5 CORTINAS IMPERMEABLES.

Las cortinas impermeables profundas tienen por objeto impedir que el agua subterránea alcance la zona de inestabilidad potencial. Las barreras impermeables se han utilizado con frecuencia para impedir el paso de contaminantes, y en los últimos años su uso se ha extendido a la estabilización de deslizamientos (Figura 5.24).

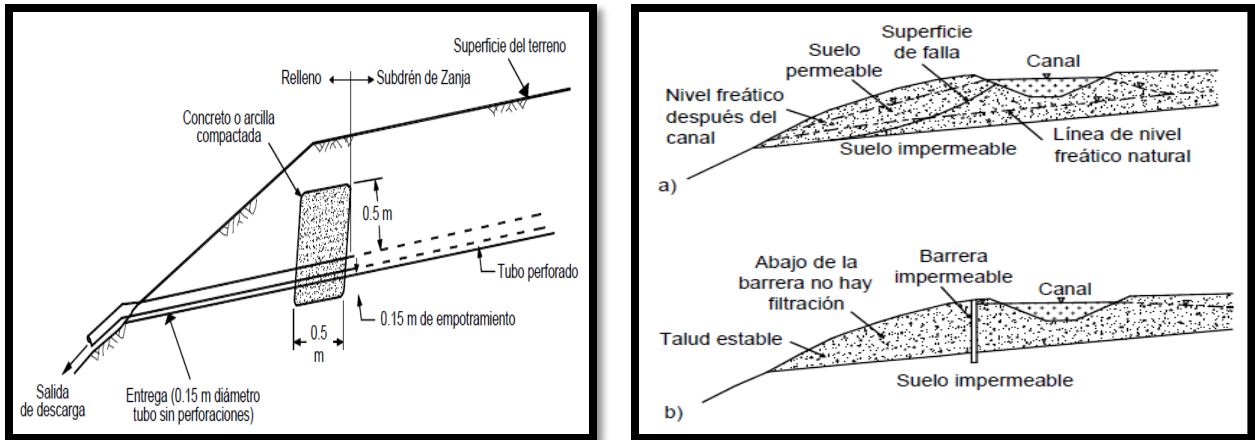


Figura 5.24 Esquema de una cortina impermeable y un ejemplo de su uso en la estabilización de un deslizamiento.

Las pantallas subterráneas pueden consistir en zanjas profundas rellenas de arcilla, asfalto o concreto, tablestacados, cortinas de inyecciones o líneas de bombeo de agua que emplean hileras de pozos verticales.

En el diseño de las cortinas se deben considerar los efectos que tiene el cambio del régimen de aguas subterráneas sobre las áreas adyacentes.

Este sistema produce un aumento del nivel freático y el represamiento del agua subterránea arriba de la pantalla y su utilización debe complementarse con la construcción de subdrenes para controlar los efectos negativos.

ZANJAS DE “SLURRY”.

La técnica de las cortinas construidas que usan zanjas de “Slurry”, consiste en muros de concreto construidos como una serie de paneles, con el empleo de excavadoras verticales (Figura 5.25). En el proceso de excavación se utiliza “Slurry” de Bentonita para impedir el derrumbe de las excavaciones. Una vez terminada la excavación de cada panel, se coloca el refuerzo y se funde el concreto.

Estos paneles generalmente tienen un ancho de 2 a 5 metros y un espesor de 60 centímetros a un metro. La profundidad depende de las necesidades del proyecto, del tipo de equipo y la calidad de los materiales y se conoce de pantallas construidas en zanjas de “Slurry” con profundidades hasta de 30 metros.

Otra alternativa es la construcción de cortinas compuestas por una mezcla de suelo y Bentonita en reemplazo del concreto. También se han utilizado mezclas de cemento y Bentonita o de concreto con Bentonita.

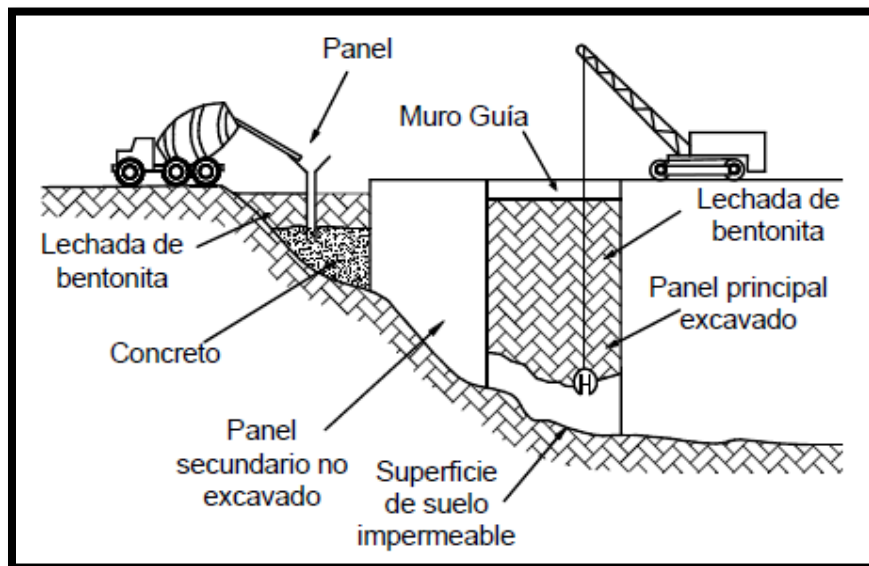


Figura 5.25 Construcción de pantallas de “Slurry”.

CORTINAS DE COLUMNAS DE SUELO CON CEMENTO.

Estas pantallas consisten en columnas perforadas, en las cuales se mezcla el suelo del sitio con cemento para formar una pared enterrada impermeable. El proceso incluye la perforación de un hueco inicial de aproximadamente 6 pulgadas de diámetro y la iniciación de un proceso de mezcla de suelo con cemento que va de abajo hacia arriba (Figura 5.26).

Existen varias técnicas para la construcción de pantallas de mezcla de suelo con cemento, con Bentonita y con otros aditivos. Los suelos ideales para mezclas profundas son las gravas, las arenas y los limos, aunque también, se pueden realizar mezclas con arcilla.

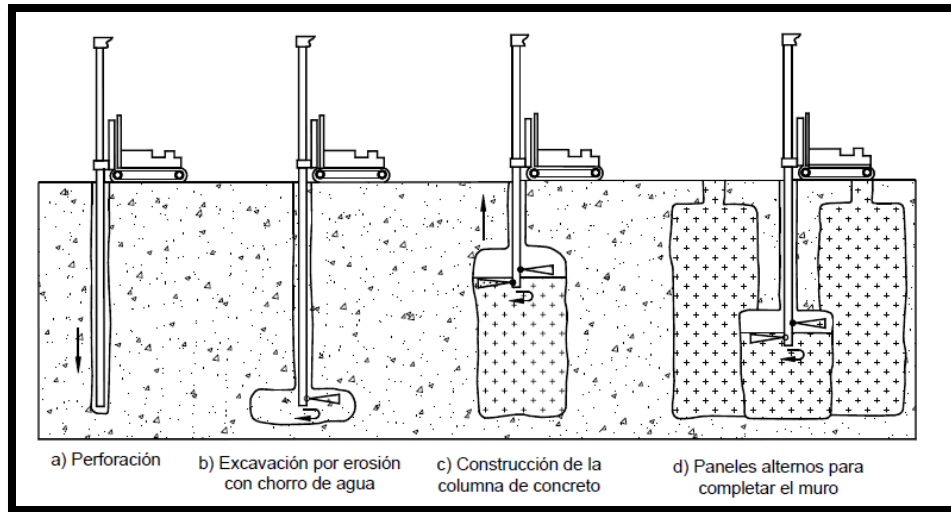


Figura 5.26 Proceso de construcción de pantallas de columnas para suelo mezclado con cemento.

Generalmente, se debe tener en cuenta que no es viable este tipo de mezclas cuando hay bloques de roca o cuando los suelos son demasiado duros.

5.4.1.6 GALERÍAS DE DRENAJE.

La galería de drenaje es un túnel cuyo objetivo específico es disminuir las presiones de poros y controlar las corrientes profundas de agua subterránea en un talud (Figuras 5.27 y 5.28). El uso de galerías de drenaje es para mejorar las condiciones de estabilidad de los taludes, para el caso de presiones muy altas de poros y es común para la estabilización de los grandes deslizamientos.

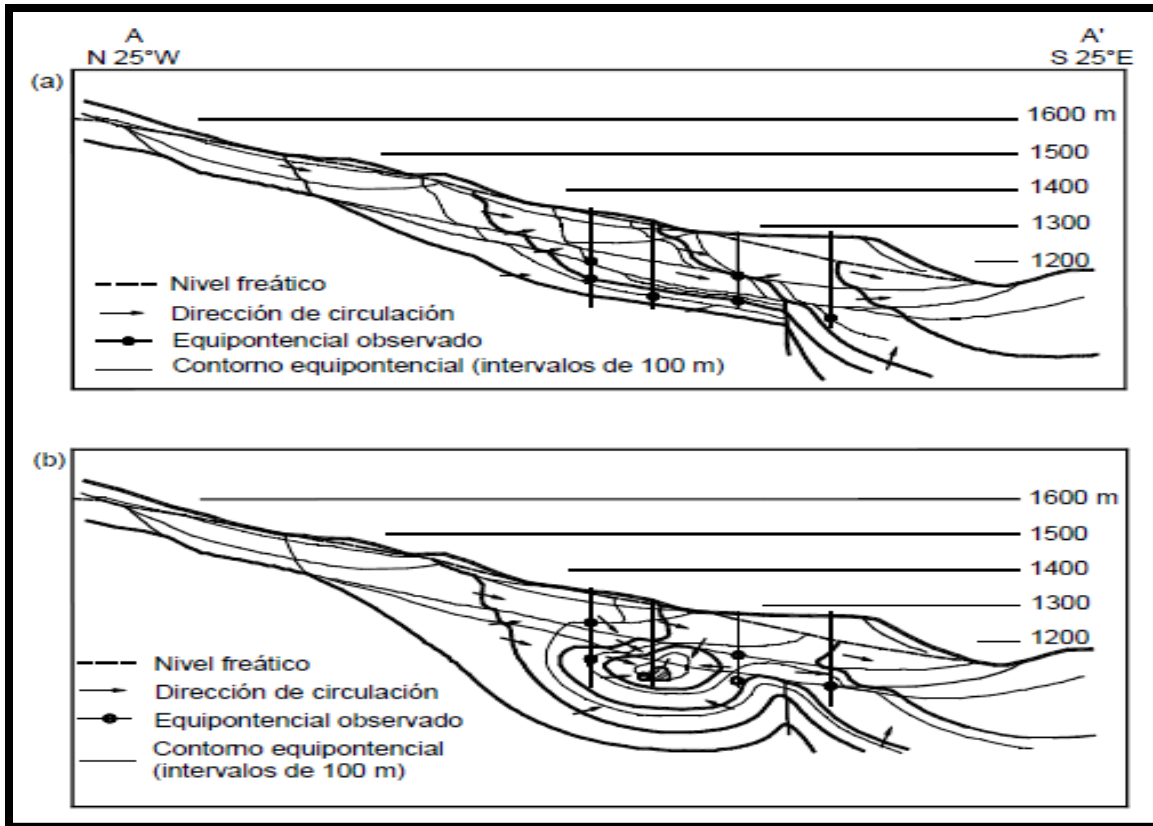


Figura 5.27 Efecto de una galería de drenaje sobre las líneas piezométricas en un gran deslizamiento. (a) Antes de la galería. (b) Después de construida la galería.

Las galerías de drenaje son empleadas especialmente, en los grandes proyectos hidroeléctricos.

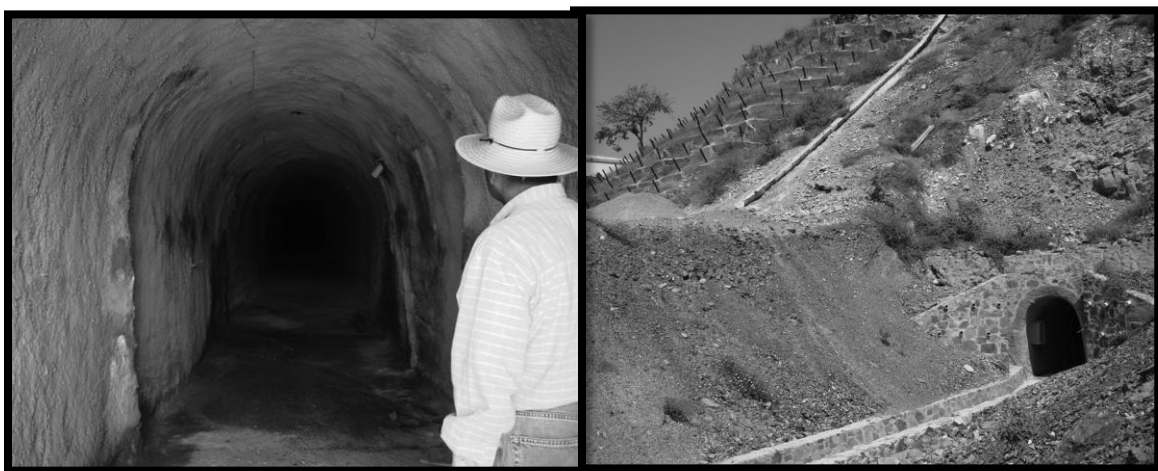


Figura 5.28 Túnel de drenaje para estabilizar el deslizamiento del estribo de un viaducto en la vía a Acapulco en México.

Los túneles de drenaje para la remediación de deslizamientos normalmente se excavan por métodos manuales, iniciando en la salida inferior del túnel, de forma similar como se hacen los túneles para los proyectos de minería.

Si el material del talud es autoportante, no se requieren entibados, pero es común que se coloquen travesaños y apoyos de madera, en las zonas donde se presentan problemas para la estabilidad del túnel.

Ocasionalmente, se puede necesitar elementos de soporte en concreto armado o una estructura metálica. Cuando una galería es construida en materiales meteorizados, hay que colocar un soporte permanente, en forma de concreto lanzado reforzado.

En este caso, la pantalla de concreto debe estar colocada sobre un sistema de drenaje diseñado con sus respectivos lloraderos para facilitar el proceso de salida del agua que se va a drenar. Generalmente, los túneles para la estabilización de los deslizamientos se dejan expuestos a la atmosfera. Sin embargo, en ocasiones los túneles se rellenan con grava que actúa como filtro y elemento de contención interna.

En algunos países las medidas de seguridad exigidas por los códigos dificultan o imposibilitan la construcción de túneles para la estabilización de los deslizamientos. Como alternativa a la excavación manual, se pueden utilizar máquinas tuneleadoras para microtúneles (MTBM), las cuales se manejan generalmente a control remoto.

Estas máquinas son similares a las grandes máquinas tuneleadoras con una cabeza que corta y un sistema de excavación y retiro de los materiales. Las microtuneleadoras presentan muchos problemas cuando se encuentran grandes bloques de roca dura, o cuando aparecen mantos blandos de limo, arena o grava.

5.4.2 ESTRUCTURAS ENTERRADAS.

5.4.2.1 PILAS DE CORTANTE.

Las pilas de cortante son estructuras circulares verticales de concreto armado que pasan a través de la superficie de falla y se entierran en suelo o roca competente. El anclaje en el suelo competente genera una resistencia lateral de capacidad de soporte permitiendo a la pila hacer una fuerza que se opone al movimiento del deslizamiento.

El refuerzo de acero de la pila es controlado por los esfuerzos de cortante y los momentos máximos desarrollados en la pila. Las pilas de cortante pueden colocarse formando una línea, la cual actúa como un muro de contención. Aunque en deslizamientos profundos sólo se requiere pila en el área arriba y debajo de la superficie de falla, generalmente se refuerza la totalidad de la pila.

5.4.3 CONFORMACION DE LA SUPERFICIE.

5.4.3.1 REMOCIÓN DE MATERIALES DE LA CABEZA DEL DESLIZAMIENTO O TALUD.

El descargue o remoción es una técnica para reducir las fuerzas actuantes dentro de la masa deslizada. Generalmente, se excava en la cabeza del deslizamiento, debido a que la parte superior del deslizamiento es la que aporta una mayor fuerza actuante sobre la masa inestable (Figura 5.29).

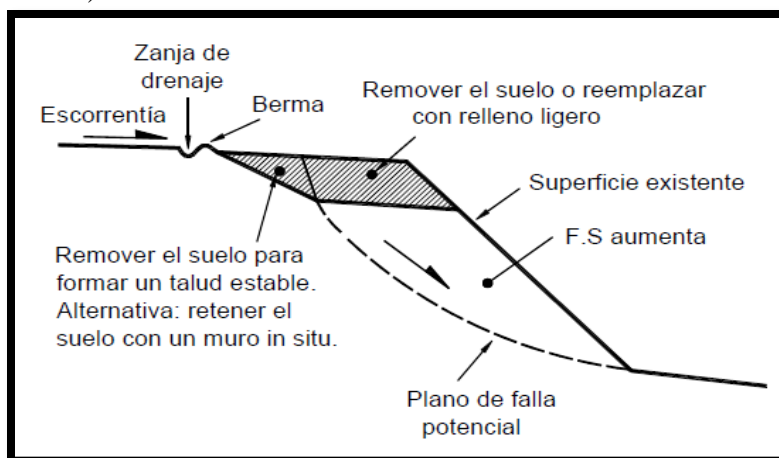


Figura 5.29 Diagrama conceptual del efecto de la remoción de materiales de la cabeza de un talud.

La construcción de terrazas en la parte alta de un deslizamiento de rotación tiende a reducir el momento actuante y controlar el movimiento. El efecto es disminuir las fuerzas actuantes en la zona más crítica para la generación de momentos desestabilizantes.

En esta forma el círculo crítico de falla se hace más profundo y más largo, aumentándose el factor de seguridad. La remoción de una suficiente cantidad de materiales en la parte superior del talud disminuye las fuerzas actuantes y puede resultar en un equilibrio de fuerzas que mejore la estabilidad del talud.

En la práctica la remoción de materiales es muy útil en fallas activas. Este método generalmente se aplica a fallas existentes y es muy eficiente en deslizamiento de tamaño mediano a pequeño. Esta técnica es muy eficiente en deslizamientos de doble o triple cuña, como se puede observar en la figura 5.30.

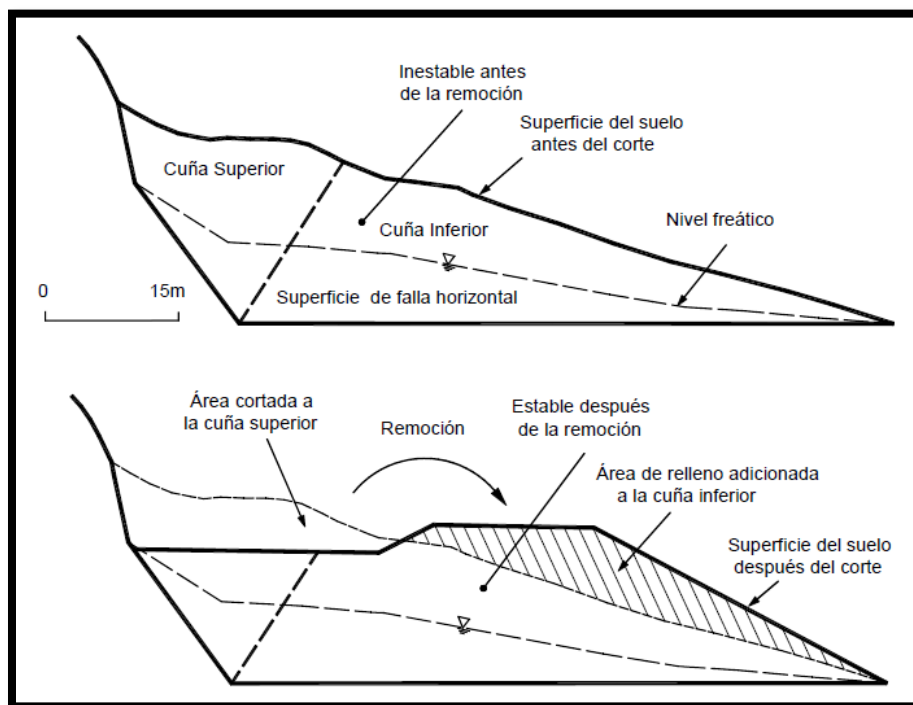


Figura 5.30 Estabilización de un deslizamiento de doble cuña removiendo material de la parte superior del movimiento.

Finalmente, la efectividad técnica del sistema y el factor económico van a determinar su viabilidad. En ocasiones estos materiales pueden ser utilizados como préstamo para terraplenes en el mismo proyecto. En deslizamientos de traslación y en ciertos flujos o deslizamientos de residuos, generalmente no es muy efectivo emplear métodos de terraceo de materiales.

La remoción de materiales en el pie del movimiento generalmente no tiene influencia sobre el factor de seguridad, o tiene como efecto la disminución del factor de seguridad (Figura 5.31). Se debe analizar dónde, cuánto cortar y el efecto de estos cortes.

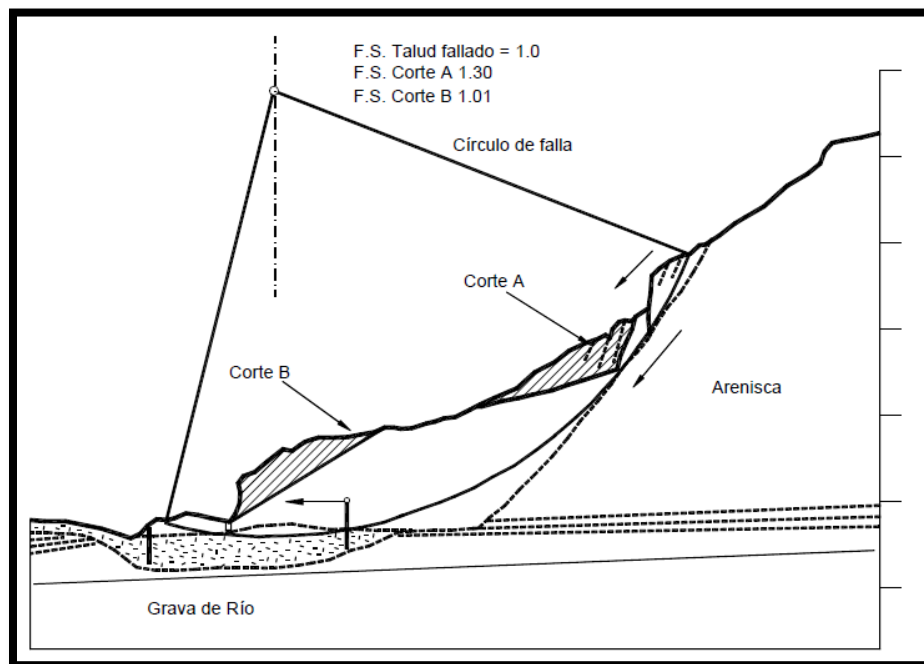


Figura 5.31 Cortar en la parte inferior del talud tiene muy poco efecto sobre el factor de seguridad o tiene un efecto negativo.

La cantidad de material que se requiere remover depende del tamaño y características del movimiento y de la geotecnia del sitio. Como una guía general, en deslizamientos en carreteras la cantidad que se requiere remover de la cabeza del deslizamiento es igual a la cantidad originalmente cortada en el pie del talud durante la construcción (Eckel, 1958).

Antes de iniciar el proceso de corte debe calcularse la cantidad de material que se requiere remover con base en un análisis de estabilidad para un factor de seguridad propuesto. El cálculo se realiza generalmente por un sistema de ensayo y error.

La gran ventaja de la excavación en la parte alta de los taludes además de su eficiencia como medio de estabilización es el costo relativamente moderado. Generalmente, el costo más importante es el transporte de los materiales y se requiere identificar y adecuar una zona para botadero de los materiales a una distancia corta del sitio de excavación.

CAPITULO 6
CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES.

- El área del deslizamiento posee una superficie de 123,521.673 m² equivalente a 17.646 Mz. de la ladera.
- En base al rango de pendiente obtenido en el estudio topográfico de la zona del movimiento, siendo este de 10 a 20 % en su mayoría, no favorece para que surja un movimiento mucho más rápido, además los resultados de laboratorio nos muestran la evidencia de un movimiento lento sin posibilidades de convertirse en flujo o avalancha, lo que permite que en la superficie se retenga agua, ocurriendo encharcamiento después de una tormenta.
- El suelo que predomina en la zona investigada, en base a los ensayos de suelos es de tipo arcillas de baja plasticidad, con una granulometría discontinua y gran variación de minerales arcillosos, lo que provoca inestabilidad por parte de las propiedades físicas del suelo.
- Por simple inspección visual y palabras de los mismos habitantes, el movimiento de ladera se encuentra en estado activo, por otro lado, la poca diferencia en los resultados de las pruebas de laboratorio dentro y fuera de la zona inestable, nos indican la posible expansión del área del movimiento, el radio de expansión fue tomada como la mayor distancia fuera del área inestable a la cual se realizaron ensayos geotécnicos es decir la muestra 5, a 170 metros, este radio de acción se puede visualizar de mejor manera en el Anexo 67.
- Por estar ubicado el movimiento en una zona geográficamente alta, presenta una mayor cantidad de precipitación de lluvia durante la época de invierno, incrementando el efecto del agua y generar mayor deslizamiento, las coordenadas geográficas para relacionar el movimiento de laderas son los dos pares siguientes: 600,000E; 292,000N y 601,500E; 290,500N.

- Con la realización de la presente investigación, se pretende brindar una guía metodológica para la obtención de datos, esta fue hecha en base al movimiento de laderas ocurrido en el lugar, sin embargo contiene aspectos generales que se pueden utilizar en otros casos con el debido estudio previo.
- Con la base de datos obtenida con los diferentes estudios realizados, se espera brindar ayuda a personal especializado que aporte soluciones más concretas utilizando los parámetros topográficos, geotécnicos e hidrológicos que en la base de datos se presentan.
- La vegetación no ayuda en gran medida a la estabilidad, no obstante, ésta es utilizable en problemas de erosión, pudiéndose consultar un profesional especializado para elegir la especie más idónea que ayude a revertir este problema que afecta en ciertas áreas de la ladera en específico a la zona morfológica C.
- Lo más importante dentro de las propuestas de medidas de prevención de riesgos en el cantón Gualindo Arriba es el fomento y profundización de la organización y educación de la comunidad ya que esta ofrece mayores posibilidades de reducir los impactos ante una emergencia.
- El patrón de drenaje de la ladera está representado principalmente por las dos quebradas que atraviesan la zona, y este se ha visto afectado por la gran cantidad de grietas y escarpes que modifican dichos patrones de drenajes.

6.2 RECOMENDACIONES.

- Para elegir la metodología más adecuada para la remediación y posible estabilización del movimiento de ladera se necesita completar la investigación y así poder determinar con criterio científico-técnico la mejor opción.
- Elaborar un programa de monitoreo y así medir los diferentes parámetros topográficos, geotécnicos, hidrológicos, geológicos del movimiento en cuestión.
- Realizar los estudios necesarios que sirvan para encontrar el valor real de la superficie de falla, ya sea prospección geofísica, inclinómetros, reflectometría, sísmica, etc. Se recomienda la prospección geofísica ya que la Universidad de El Salvador campus central cuenta con el equipo para realizarlo.
- Efectuar un estudio geológico para conocer al detalle la geología local y regional, de ésta manera poder evaluar el comportamiento del suelo y las rocas del lugar en épocas pasadas, así como se espera en un futuro.
- Realizar ensayos de mineralogía para las arcillas con lo que se pueda fortalecer la evidencia de los minerales desestabilizadores y así tomar decisiones de la conveniencia en remover el material existente.
- Evitar el incremento de los asentamientos humanos ya que es una zona bastante inestable, la cual hace vulnerable a los habitantes con sus respectivas familias.
- Elaborar un mapa de susceptibilidad a deslizamientos de la zona lo más detallado posible, para evaluar posibles daños a otras comunidades que no han sido afectadas por este fenómeno pero que se encuentran en situaciones de susceptibilidad.

BIBLIOGRAFIA.

LIBROS

- ✓ ADEL Morazán, ECHO, APS
Hacia la Gestión de Riegos en Morazán
El Salvador
Nuria Gamboa
2002
157 páginas

- ✓ BRAJA M. DAS
Fundamentos de Ingeniería Geotécnica
Sacramento, California
Thomson Editores, S.A. de C.V.
2001
608 páginas

- ✓ CRESPO VILLALAZ, Carlos
Mecánica de suelos y cimentaciones
México
Limusa
2004
652 páginas

- ✓ DUQUE ESCOBAR, Gonzalo
Manual de geología para ingenieros
Colombia
Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales
2003
477 páginas

- ✓ HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto
Metodología de la investigación
México
McGraw- Hill Interamericana de México S.A de C.V
1991
518 páginas

- ✓ JUAREZ, Eulalio
Mecánica de Suelos. Tomo 1, Fundamento de la mecánica de suelos
México
Limusa
2005
629 páginas

- ✓ KRAMER, Steven Lawrence
Geotechnical Earthquake Engineering
United States of America
Prentice Hall, Inc.
1996
673 páginas

- ✓ SUAREZ DÍAZ, Jaime
Deslizamientos: análisis geotécnico
Colombia
Universidad Industrial de Santander
2009
588 páginas

✓ SUAREZ DÍAZ, Jaime

Deslizamientos: Técnicas de remediación

Colombia

Universidad Industrial de Santander

2009

413 páginas

✓ SUAREZ DÍAZ, Jaime

Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales

Colombia

Ingeniería de Suelos Ltda.

1998

550 páginas

✓ VEN TE CHOW

Hidrología Aplicada.

Colombia

Mc Graw-Hill

1994

577 páginas

TESIS

✓ BLANCO, Mario Alexander y otros

Caracterización y análisis de estabilidad de taludes Aledaños a los centros escolares del cantón San Julián y Joya de Ventura del municipio de San Jorge, Departamento de San Miguel

Universidad de El Salvador

2006

- ✓ CAÑAS CUADRA, Raúl Ernesto y otros
Propuesta de diseño de puente vehicular sobre la quebrada El Amate, Caserío El Amate, J/ de Intipucá, Depto. de La Unión.
Universidad de El Salvador
2006

- ✓ CASTRO SALINAS, Edwin Roberto y otros
Planificación de obras de protección a las inundaciones del río San José de la ciudad de Metapán, Departamento de Santa Ana.
Universidad de El Salvador
2002

- ✓ CONTRERAS LÓPEZ, Leivi Margarita y otros
Identificación y evaluación de escorrentía superficial que generan sectores de inundación de alto riesgo de la zona urbana de la ciudad de San Miguel
Universidad de El Salvador
2005

- ✓ GARCÍA TREJO, Sandra Lisseth y otros
Propuesta de un manual de laboratorio de mecánica de suelos conforme a la norma ASTM 2003
Universidad de El Salvador
2006

- ✓ HERRERA SALAZAR, Nestor Omar
Análisis para el diseño sismorresistente de taludes en el Km 86 carretera ca12s la Majada – Juayúa
Universidad de El Salvador
2005

- ✓ POSADA ESPINOZA, Emilia Carlenin y otros
Caracterización de movimientos de ladera y propuestas de medidas de estabilización en los cantones San Antonio Jocote Dulce y Boquerón del municipio de Chinameca
Universidad de El Salvador
2006

OTROS

- ✓ ALARCÓN
Física de la tierra
Madrid
Universidad Politécnica de Madrid
1989

- ✓ CEL
Léxico Estratigráfico de El Salvador
1984

- ✓ COOK, John
Las rocas importan: realidades de la geomecánicas
Reino Unido
Universidad de Cambridge
Revista
2007

- ✓ MARLAH II/GTZ
Guía para la Gestión local de Riesgo por Deslizamientos
El Salvador
Noviembre 2002.

- ✓ MOP
Informe de inspección de Gualindo Arriba, municipio de Lolotiquillo, departamento de Morazán
Informe elaborado el 28 de Agosto de 2010.

- ✓ MOP
Informe de Monitoreo de los taludes de la carretera CA-1 en la zona de la curva la leona.
Septiembre 2003

- ✓ MOP, Dr. Alba Hurtado. Ortega y CIA CLASS
Presentación: Estabilidad de taludes Carretera CA-1, tramo curva la leona
Enero 2002

- ✓ MORA CHINCHILLA, Rolando
Problemas geotécnicos: manual simplificado para su identificación
Costa Rica
Universidad de Costa Rica
2000

- ✓ PROTECCIÓN CIVIL
Resumen de afectaciones periodo invernal 2010, logros y avances
Ing. Francisco Aguirre Gallo

- ✓ SNET
Memoria técnica para el mapa de susceptibilidad de deslizamientos de tierra en El Salvador.

Mayo, 2004

WEBGRAFÍA

- ✓ http://eprints.ucm.es/12569/1/2-ARTICULO_1.pdf
- ✓ <http://es.scribd.com/doc/53086709/3/OBTENCION-DE-MUESTRAS-ALTERADAS>
- ✓ <http://es.scribd.com/doc/55158100/limites>
- ✓ http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADmites_de_Atterberg#L.C3.ADmite_L.C3.ADquido
- ✓ http://html.rincondelvago.com/geotecnia_suelos.html
- ✓ <http://web.usal.es/~javisan/hidro/temas/SEV.pdf>
- ✓ <http://www.galeon.com/geomecanica/cap12.pdf>
- ✓ http://www.geofisica.cl/English/pics6/Introduccion_a_la_Geofisica.pdf
- ✓ <http://www.jordigonzalezboada.com/geotecnia/descargas.php>
- ✓ http://www.oocities.org/thetropics/3070/man06_01.htm
- ✓ https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/2/EL41B/1/material_alumnos/bajar?id_material=23648
- ✓ https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2010/1/EL3003/2/material_alumnos/bajar?id_material=55268

GLOSARIO

Abanico aluvial (Alluvial fan): Acumulación de materiales, con forma de abanico o de segmento de cono, depositada por una corriente, que se apoya en una zona de relieve y se expande y termina en otra llana.

Abatimiento: Inclinación o giro de algo.

Aferencia: Es la transmisión de algo, desde un lugar en particular, a una zona considerada de mayor importancia o más grande.

Afloramiento: Parte de un terreno visible en la superficie de la tierra.

Aforo volumétrico: Método aplicable en la medición de pequeños caudales y se realiza midiendo el tiempo de llenado (t) de un recipiente de volumen conocido (V).

Aluvión: Es un material detrítico transportado y depositado transitoria o permanentemente por una corriente de agua, que puede ser repentina y provocar inundaciones. Puede estar compuesto por arena, grava, arcilla o limo.

Ampelita: Roca esquistosa, negruzca, derivada de arcillas ricas en materia orgánica y en pirita.

Análisis Asintótico: Es un método de descripción de la limitación de comportamiento. Limitar el comportamiento se expresa en el lenguaje de las relaciones de equivalencia. Además, el análisis asintótico se refiere a la solución de problemas aproximadamente hasta tales equivalencias.

Apical: Se aplica a la zona de cúspide o de vértice.

Arcilla orgánica: Es una arcilla con suficiente contenido de materia orgánica que influye en las propiedades del suelo. Es un suelo que podría ser clasificado como arcilla, excepto

que el valor de su límite líquido después de secado en el horno es menor al 75% de su valor de límite líquido original.

Arcilla: Suelo que pasa el tamiz No. 200 (75 μm), puede ser moldeado para mostrar plasticidad dentro de un rango de contenidos de agua. Para propósitos de clasificación, una arcilla es un suelo o una porción de suelo de grano fino, con un índice de plasticidad igual o mayor que 4 y que al graficar el índice plástico vs límite líquido cae sobre o arriba de la línea A.

Arena fina: Partículas que pasan la malla No. 40 (425 μm) y se retienen en el tamiz No.200 (75 μm).

Arena gruesa: Partículas que pasan la malla No. 4 (4.75 mm) y se retienen en la malla No.10 (2.00 mm).

Arena media: Partículas que pasan la malla No. 10 (2.00 mm) y se retienen en el tamiz No.40 (425 μm).

Arena: Son partículas de roca que pasan el tamiz No 4 (4.75 mm) y se retienen en el tamiz No 200(75 μm).

Arroyada concentrada: existencia de un flujo lineal del agua. Son capaces de hacer una incisión lo suficientemente profunda como para modelar surcos (arroyos) que si permiten en el tiempo forman cárcavas o barrancos.

Arroyada difusa: existencia de infinidad de hilos sinuosos, superpuestos y cambiantes que se extienden a lo largo de la vertiente

Arroyada: proceso de transporte de material meteorizado por las aguas no canalizadas de forma estable y permanente que circulan con carácter temporal.

Bermas: Espacio llano, cornisa, o barrera elevada que separa dos zonas.

Cantos rodados o boleos: Son fragmentos de roca, generalmente redondeados o semiredondeados, con una dimensión promedio entre 3 y 12 pulg. (75 y 305 mm)

Cemento: Precipitación química, fina o ampliamente cristalizada, que empasta los granos y clastos de una roca.

Ciclo sedimentario: Sedimentos que se depositan en una cuenca entre el inicio de dos fases transgresivas.

Ciclo tectónico u orogénico: Sucesión de acontecimientos que rigen la formación y luego la destrucción de una cadena montañosa.

Clasto: Fragmento, ya sea de un cristal, una roca, o un fósil.

Cohesión: Es la cualidad por la cual las partículas del terreno se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas, que dependen, entre otras cosas del número de puntos de contactos que cada partícula tiene con sus vecinas. En consecuencia, la cohesión es mayor cuanto más finas son las partículas del terreno.

Coluviones: depósitos de materiales producto de deslizamientos.

Confinado (Cerrado): Dícese de los medios o ambientes en los que los procesos que tienen lugar se producen sin transferencia de materia con el exterior.

Corriente de turbidez: Movimiento de una masa de agua que contiene materiales detríticos terrígenos en suspensión, cuya densidad permite que descienda por gravedad las pendientes marinas (talud continental, cañones submarinos) o lacustres.

Cuenca: territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico

Denudación: 1. Geología: Descubrir o desnudar rocas mediante la remoción del terreno o suelo que las cubren. 2. Proceso de alteración destructiva de la superficie del terreno, ocasionada por la acción energética y mecánica de fuerzas naturales (lluvia, viento, sol,

nieve, hielo, glaciares, terremotos, inundaciones) y en general procesos de intemperización, erosión y transporte, así como la mano del hombre.

Detríticos: 1. Partículas sólidas arrastradas y depositadas, procedentes del exterior de una cuenca. 2. Sedimentos o rocas formados predominantemente por partículas detríticas. Sinónimo: clásticos.

Diagénesis: Proceso que implica cambios físico-químicos en un depósito sedimentario que lo convierte en una roca consolidada.

Dilatancia negativa: Disminución de volumen durante el corte hasta alcanzar el valor residual, a partir del cual ya no hay variación de volumen

Dilatancia positiva: Aumento de volumen de un suelo durante el proceso de corte, desde que se le aplica la carga hasta que alcanza la tensión residual (negativa).

Dilatancia: Característica de las suspensiones con alto contenido de sólidos, que aumentan su fluidez con la agitación.

Disuasión: Inducción a una persona para que desista de una idea o propósito.

Dualidad: Reunión de dos caracteres o características distintos en una misma persona o cosa.

Era: Unidad geo-cronológica de rango mayor.

Erodabilidad: índice que indica la vulnerabilidad o susceptibilidad a la erosión y que depende de las propiedades intrínsecas de cada suelo. Cuanto mayor sea la erodabilidad mayor porcentaje de erosión.

Erosión: Conjunto de fenómenos externos que, en la superficie del suelo o a escasa profundidad, quitan en todo o en parte los materiales existentes modificando el relieve.

Escarpe: Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior de la ladera.

Estratigrafía: rama de la geología que estudia el orden y posición relativa de los estratos.

Exógeno: Se aplica a las rocas formadas en la superficie de la tierra. Antónimo: endógeno.

Exudación: Concentración en pequeñas venas o filoncillos de un mineral procedente de las rocas encajantes.

Fábrica: Estructuración u orientación mineral conferida a la masa ígnea. Planar: define un plano. Linear: define líneas.

Falla: Fractura del terreno con desplazamiento relativo de las partes separadas.

Finos: Es una porción de suelo más fino que la malla No 200.

Flanco: En un pliegue, cada uno de sus lados.

Freático/a: Se dice de la parte del subsuelo saturada de agua, y de esta misma agua.

Georeferenciar: Ubicación de un mapa topográfico dentro de las coordenadas que posee en Centro Nacional de Registros (CNR).

Graben (Fosa tectónica): Área deprimida que corresponde a un bloque hundido por fallas normales paralelas a los lados largos. Antónimo: horst.

Gradación: graduación de las partículas del suelo. Distribución granulométrica.

Grava fina: Partículas que pasan el tamiz de $\frac{3}{4}$ " (19 mm) y se retienen en un tamiz No 4(4.75 mm).

Grava gruesa: Partículas que pasan el tamiz de 3" (75 mm) y se retienen en un tamiz de $\frac{3}{4}$ " (19 mm).

Grava: Son partículas de roca que pasan el tamiz de 3" (75 mm) y se retienen en el tamiz No. 4(4.75 mm).

Guijarros: Son fragmentos de roca generalmente redondeados por desgaste o abrasión, con una dimensión de 12 pulg. (305 mm).

Heterogeneidad: Constitución de un todo formado por partes desiguales.

Intersticio: cada uno de los espacios vacíos que quedan entre los nudos de una red cristalina, así como también el espacio hueco entre los granos de una roca.

Intrusivo/a: Que penetra en formaciones ya existentes. Se aplica a las rocas magmáticas emplazadas en estado fluido bajo la superficie y a los macizos que constituyen, así como a los diapiros de rocas salinas.

Iteraciones: Repetición de una serie de instrucciones en un programa de computadora.

Limo orgánico: Es un limo con un alto contenido orgánico que influye en las propiedades del suelo. Es un suelo que podría ser clasificado como limo, excepto que el valor de su límite líquido después de secado en el horno es menor que el 75 % de su valor de límite líquido original.

Limo: Es un suelo que pasa el tamiz No. 200 (0.075 mm), no plástico o muy ligeramente plástico, por lo que posee poca o ninguna resistencia cuando es secado al aire. Para clasificación, el limo es un suelo o porción de suelo de grano fino con un índice de plasticidad menor que 4.

Lixiviación: proceso de lavado de un estrato de terreno o capa geológica por el agua. Como también por placas ácidas encontradas en las sales que disuelven casi cualquier material sólido.

Macro-: Prefijo que significa grande.

Macroporos: poros grandes, filtran el agua y son ocupados por el aire

Magma: Material fundido generado en el interior de la tierra por fusión de materiales a temperatura superior a 600° C. Su enfriamiento y consolidación da origen a las rocas magmáticas.

Mega-: Elemento compositivo que significa grande.

Meso-: Prefijo que significa en medio, medio.

Meta-: Prefijo que significa más allá de, y que indica también la sucesión y la transformación. Situado delante de un nombre de roca indica que ésta ha sido metamorfizada. Tal denominación implica la identificación de la roca originaria y, por consiguiente, en general, un metamorfismo bajo o medio.

Metamorfismo: Conjunto de procesos que a partir de una roca original cambian la mineralogía y estructura de la misma, pudiendo llegar a formar una nueva roca, por efecto del aumento de la presión y/o temperatura, sin llegar a fundir totalmente la roca original.

Microporos: poros pequeños retienen el agua y los suelos se encharcan

Morfometría: De acuerdo a la forma y medidas de los objetos se pueden clasificar o identificar.

Muestra inalterada: Es una muestra de suelo que ha sido obtenida por métodos en los cuales se han tomado todas las precauciones para minimizar alteraciones en la muestra.

Orógeno: Sistema montañoso edificado sobre una porción inestable de la corteza terrestre que ha sufrido un importante acortamiento y presenta pliegues y mantos de corrimiento.

Orografía: Disposición de los relieves.

Oxidación: 1. Proceso de combinación con el oxígeno. 2. Re movilización de uno o más electrones de un ión o átomo.

Paleo-: Prefijo que significa antiguo.

Piroclásticas: Roca detrítica formada por acumulación de partículas sólidas expulsadas por un volcán, llamadas piro clastos.

Placa litosférica: Partes rígidas superficiales de la tierra, del orden de un centenar de kms de espesor, cuyo conjunto constituye la litosfera. Pueden desplazarse horizontalmente sobre su substrato viscoso, llamado astenósfera. Los límites entre las placas son de tres tipos: rift oceánico, zona de subducción y falla transformante.

Pleistoceno: época geológica que comienza hace 2,59 millones de años y finaliza aproximadamente 12.000 años AP (antes del presente), precedida por el Plioceno y seguida por el Holoceno.

Pliegue: Deformación resultante de la flexión o torsión de rocas.

Porosidad: porcentaje de huecos existentes en el suelo frente al volumen total

Post- (Pos-): Prefijo que significa detrás de o después de.

Pre-: Prefijo que significa anterioridad espacial o temporal.

Relictos: De acuerdo a Gonzalo Duque, son estructuras heredadas por el suelo, de la roca madre (diaclasas, etc.)

Retro-: Prefijo que significa hacia atrás.

Semi-: Elemento compositivo que significa medio

Símbolo de Frontera: Un símbolo de frontera son dos símbolos separados por una “pleca (/)”, por ejemplo, CL/CH, GM/SM, CL/ML y debe usarse para indicar que a un suelo se le han identificado propiedades que no lo colocan de manera única en un grupo específico.

Símbolo doble: Un símbolo doble son dos símbolos separados por un guión, por ejemplo: GP-GM, SW-SC, CL-ML, utilizados para indicar que el suelo ha sido identificado teniendo las propiedades de una clasificación de acuerdo con el método de ensayo D 2487 donde se requiere de dos símbolos. Se requieren dos símbolos cuando el suelo tiene entre 5 y 12% de

finos o cuando el punto graficado de los valores de límite líquido e índice de plasticidad se sitúa en el área CL-ML de la carta de plasticidad.

Sin-: Prefijo que significa junto, unión.

Somero/a: Relativo a zonas, aguas, medios, condiciones, etc. cerca de la superficie del agua.

Sub-: Prefijo que significa bajo, por debajo de, casi.

Suelo normalmente consolidado: Se dice que un suelo está normalmente consolidado cuando nunca ha soportado a lo largo de su historia una presión efectiva superior a la que tiene actualmente.

Suelo: Son sedimentos u otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas producidas por la desintegración física y química de las rocas, las cuales podrían o no contener materia orgánica.

Suelos fracturados: Suelos con numerosas fisuras.

Trinchera: Camino hecho a desnivel, por debajo del nivel del suelo.

Turba: Es un suelo compuesto principalmente de tejidos vegetales en varios estados de descomposición, usualmente con un olor orgánico, de color café oscuro a negro, con una consistencia esponjosa y una textura que varía de fibrosa a amorfa.

Ubicuo: Adj. Que está presente a un mismo tiempo en todas partes, omnipresente.

ANEXOS

ANEXO 1. Resultados Descripción Visual-Manual de suelos (ASTM D 2488)

Lugar: Cantón Gualindo Arriba, Lolotiquillo, Morazán

1. Características descriptivas.

Sondeo	Angulosidad	Forma	Color	Olor	Condición de humedad	Dureza
1	Sub- Angular	No aplica	café amarillo	Inorgánico	Seca	No aplica
2	Sub- Angular	No aplica	Café oscuro a negro	Orgánico	Seca	2golpes
3	No aplica	No aplica	café/ café	Inorgánico	Seca	No aplica
4	Sub- Angular	No aplica	café amarillo/café rojo	Inorgánico	Seca	1 golpe
5	No aplica	No aplica	Café oscuro a negro	Orgánico	Húmeda	No aplica
6	Angular	plana	café/café	Inorgánico	Húmeda	1 golpe
7	No aplica	No aplica	café claro/café oscuro	Inorgánico	Húmeda	No aplica

2. Identificación de suelos.

Sondeo	Resistencia en seco	Dilatancia	Tenacidad	Plasticidad
1	Muy alto	rápida	alta	alta
2	muy alto	lenta	media	muy alta
3	muy alto	ninguna	alta	alta
4	muy alto	lenta	alta	alta
5	medio	lenta	baja	alta
6	muy alto	ninguna	alta	alta
7	medio	ninguna	alta	alta

ANEXO 2. Resultados Contenido de humedad (ASTM D 2216)

Lugar: Cantón Gualindo Arriba, Lolotiquillo, Morazán

1. Datos obtenidos en Laboratorio.

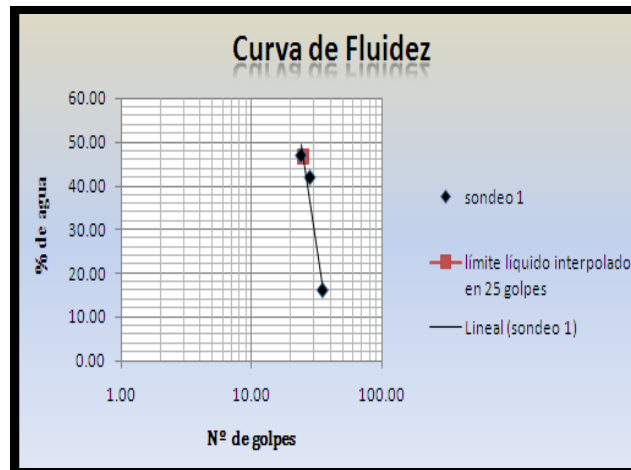
sondeo	W tara (gr.)	Suelo húmedo + Tara (gr.)	Suelo seco + Tara (gr.)
1	70.00	115.00	110.00
2	65.00	105.00	100.00
3	75.00	125.00	120.00
4	70.00	115.00	105.00
5	65.00	115.00	105.00
6	75.00	130.00	115.00
7	70.00	120.00	110.00

2. Resultados de la prueba.

sondeo	Agua (gr.)	Suelo seco (gr.)	Contenido de Humedad
1	5.00	40.00	12.50%
2	5.00	35.00	14.29%
3	5.00	45.00	11.11%
4	10.00	35.00	28.57%
5	10.00	40.00	25.00%
6	15.00	40.00	37.50%
7	10.00	40.00	25.00%

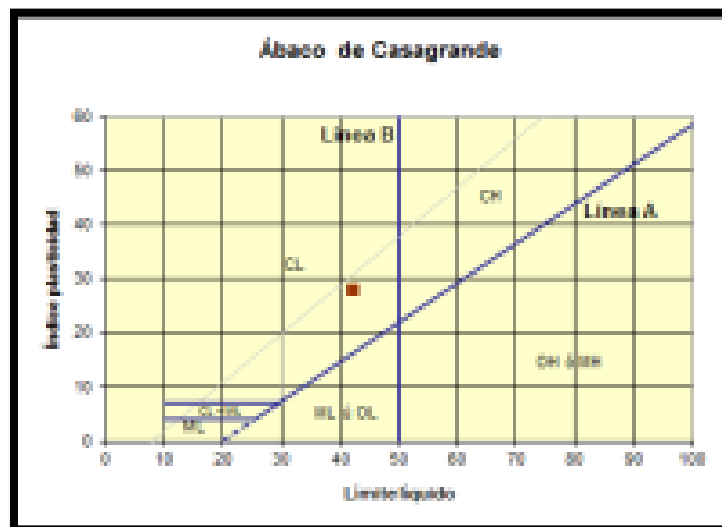
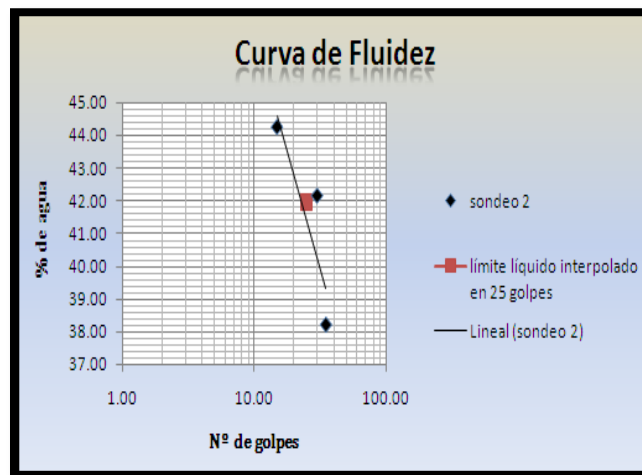
Anexo 3. Resultados para límites de Atterberg Sondeo 1

Ensayo	Límite Líquido			Límite plástico	
	1	2	3	1	2
No de golpes	35.00	28.00	24.00	1	2
peso de suelo húmedo y tara	22.90	36.56	36.00	18.00	19.00
Peso de suelo seco y tara	21.35	29.30	28.15	16.80	17.85
tara	11.75	12.00	11.45	11.40	12.20
peso de agua	1.55	7.26	7.85	1.20	1.15
Peso de suelo seco	9.60	17.30	16.70	5.40	5.65
contenido de agua %	16.15	41.97	47.01	22.22	20.35



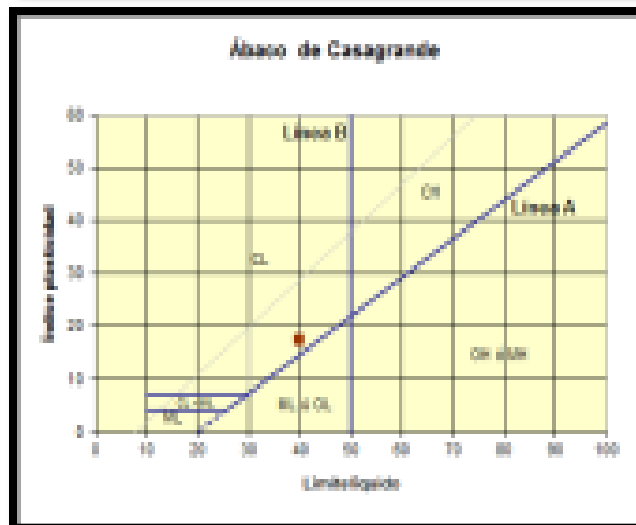
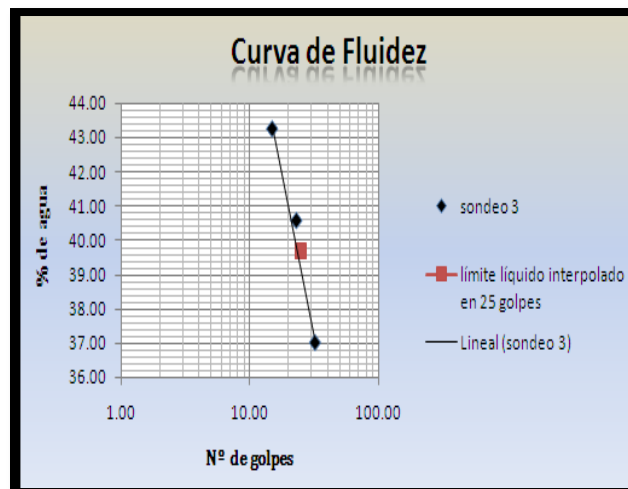
ANEXO 4. Resultados para límites de Atterberg Sondeo 2.

Ensayo	Límite Líquido			Límite plástico	
	1	2	3	1	2
No de golpes	35.00	30.00	15.00	1	2
peso de suelo húmedo y tara	33.95	26.75	34.30	81.90	76.40
Peso de suelo seco y tara	27.65	22.20	27.40	81.03	75.75
tara	11.15	11.40	11.80	75.90	69.60
peso de agua	6.30	4.55	6.90	0.87	0.65
Peso de suelo seco	16.50	10.80	15.60	5.13	6.15
contenido de agua %	38.18	42.13	44.23	16.96	10.57



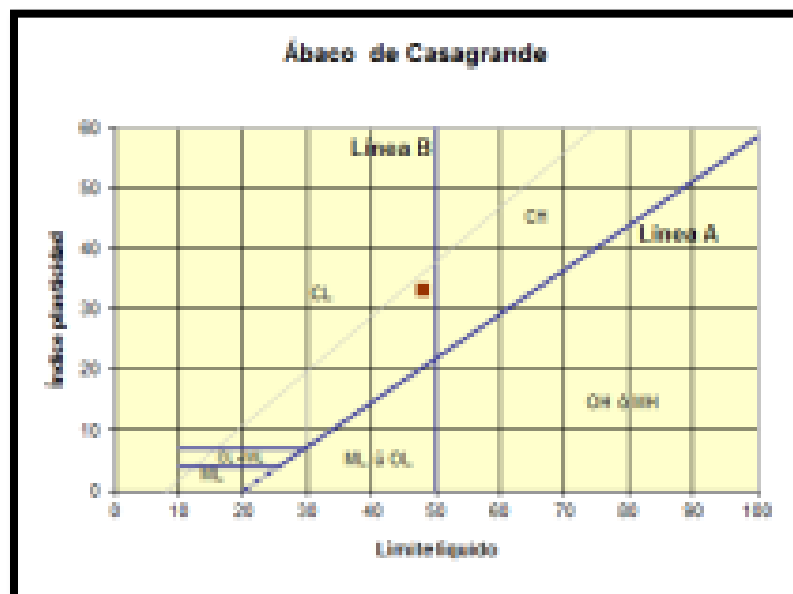
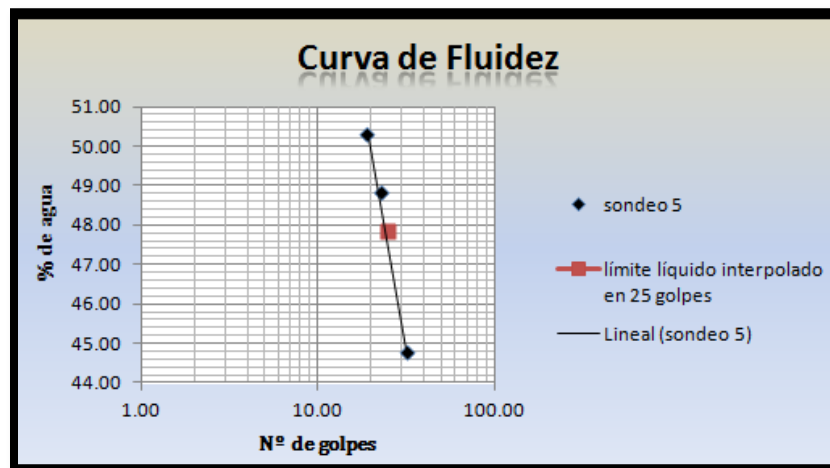
ANEXO 5. Resultados para límites de Atterberg Sondeo 3.

Ensayo	Límite Líquido			Límite plástico	
	1	2	3	1	2
No de golpes	15.00	23.00	32.00		
peso de suelo húmedo y tara	15.00	14.05	15.95	8.00	8.00
Peso de suelo seco y tara	11.00	10.50	12.10	7.15	6.60
tara	1.75	1.75	1.70	1.80	1.70
peso de agua	4.00	3.55	3.85	0.85	1.40
Peso de suelo seco	9.25	8.75	10.40	5.35	4.90
contenido de agua %	43.24	40.57	37.02	15.89	28.57



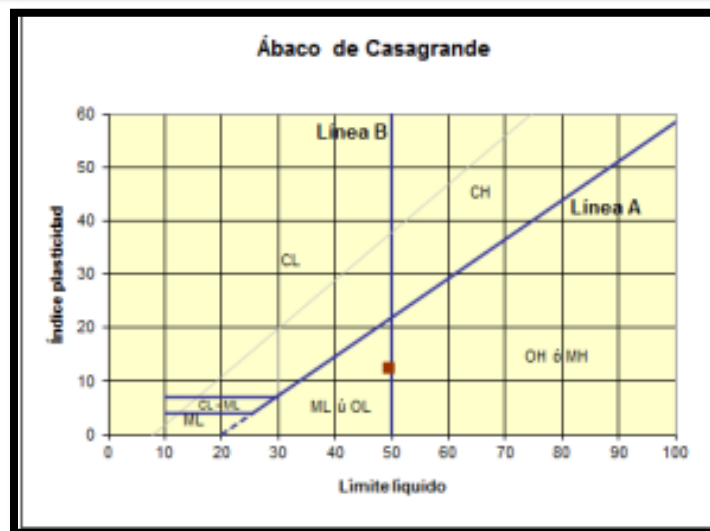
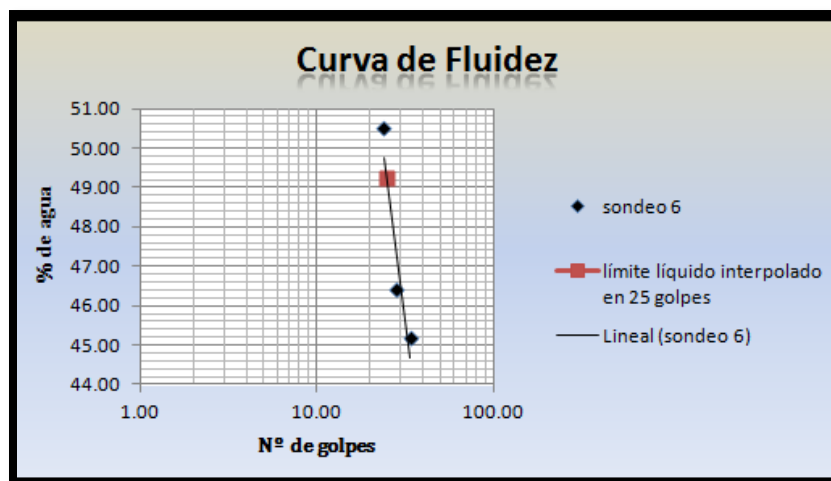
ANEXO 7. Resultados para límites de Atterberg Sondeo 5.

Ensayo	Límite Líquido			Límite plástico	
	1	2	3	1	2
No de golpes	32.00	23.00	19.00		
peso de suelo húmedo y tara	25.80	24.70	23.95	18.00	18.00
Peso de suelo seco y tara	21.50	20.55	19.90	17.10	17.25
tara	11.90	12.05	11.85	11.50	11.50
peso de agua	4.30	4.15	4.05	0.90	0.75
Peso de suelo seco	9.60	8.50	8.05	5.60	5.75
contenido de agua %	44.79	48.82	50.31	16.07	13.04



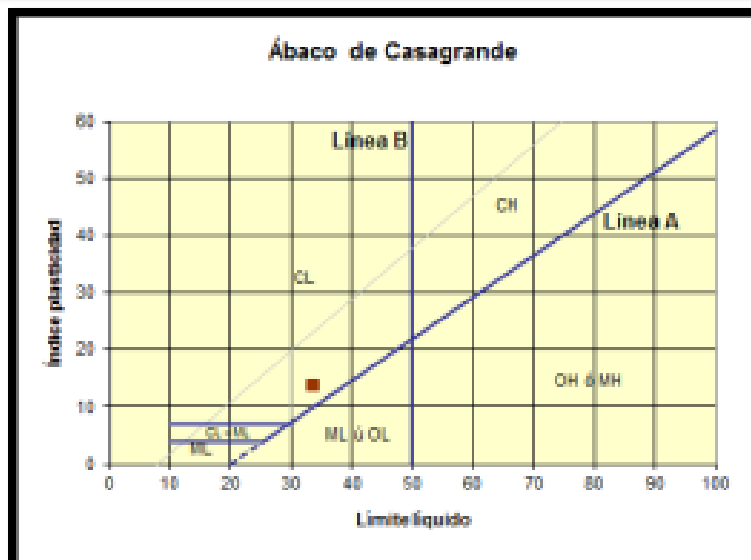
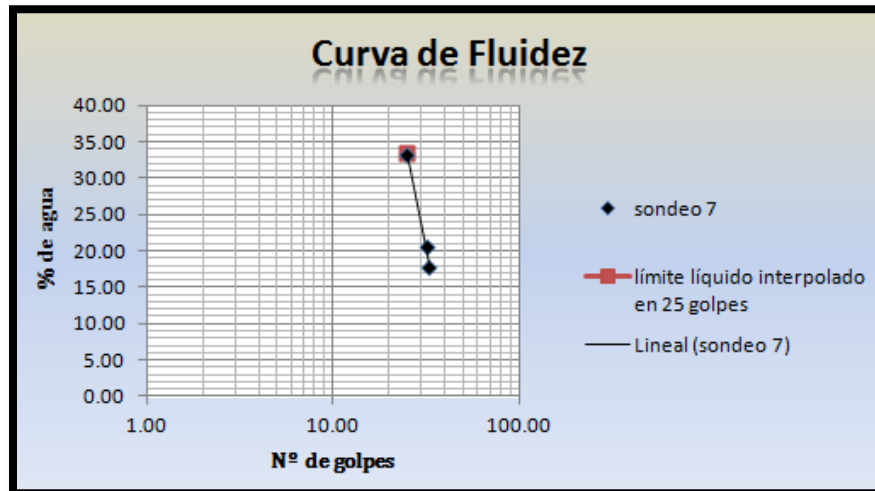
ANEXO 8. Resultados para límites de Atterberg Sondeo 6.

Ensayo	Límite Líquido			Límite plástico	
	1	2	3	1	2
No de golpes	34.00	28.00	24.00	1	2
peso de suelo húmedo y tara	24.10	25.35	26.88	76.10	82.90
Peso de suelo seco y tara	20.10	21.05	21.65	74.40	81.00
tara	11.25	11.79	11.30	69.60	76.00
peso de agua	4.00	4.30	5.23	1.70	1.90
Peso de suelo seco	8.85	9.26	10.35	4.80	5.00
contenido de agua %	45.20	46.44	50.53	35.42	38.00




ANEXO 9. Resultados para los límites de Atterberg Sondeo 7.

Ensayo	Límite Líquido			Límite plástico	
	1	2	3	1	2
No de golpes	32.00	33.00	25.00	1	2
peso de suelo húmedo y tara	14.30	16.60	15.70	8.00	8.00
Peso de suelo seco y tara	12.15	14.35	12.20	6.90	7.05
tara	1.70	1.75	1.70	1.75	1.70
peso de agua	2.15	2.25	3.50	1.10	0.95
Peso de suelo seco	10.45	12.60	10.50	5.15	5.35
contenido de agua %	20.57	17.86	33.33	21.36	17.76



ANEXO 10. Reporte de Gravedad Específica Sondeo 1 Fundación P. Arrupe.




PETICIONARIO:	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
PROYECTO:	IDENTIFICACIÓN Y E VALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN
MUESTRA:	MUESTRA INALTERADA
REFERENCIA:	SONDEO N° 1
FECHA DE SOLICITUD:	15 DE JULIO 2011
FECHA DE ENTREGA:	AGOSTO DE 2011

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SUELOS ASTM D854 MÉTODO "A"

REFERENCIA DE ENSAYO	1	2
TEMPERATURA DE ENSAYO	20° C	20° C
MASA DE SUELO SECO AL HORNO (g)	184.60	172.20
MASA DEL PICNOMETRO Y AGUA A TEMPERATURA DE ENSAYO (g)	694.3	695.2
MASA DEL PICNOMETRO, AGUA Y SUELO A LA TEMPERATURA DE ENSAYO (g)	812.8	805.6
GRAVEDAD ESPECIFICA A LA TEMPERATURA DE ENSAYO	2.793	2.786
PROMEDIO DE GRAVEDAD ESPECIFICA A LA TEMPERATURA DE ENSAYO	2.790	

CONTROL INTERNO	CALCULO: S.A.M. FECHA: 5/8/11
-----------------	----------------------------------



ANEXO 11. Reporte de Gravedad Específica Sondeo 2 Fundación P. Arrupe.



PETICIONARIO:	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
PROYECTO:	IDENTIFICACIÓN Y E VALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN
MUESTRA:	MUESTRA INALTERADA
REFERENCIA:	SONDEO N° 2
FECHA DE SOLICITUD:	15 DE JULIO 2011
FECHA DE ENTREGA:	AGOSTO DE 2011

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SUELOS ASTM D854
MÉTODO "A"

REFERENCIA DE ENSAYO	1	2
TEMPERATURA DE ENSAYO	20° C	20° C
MASA DE SUELO SECO AL HORNO (g)	142.00	135.20
MASA DEL PICNOMETRO Y AGUA A TEMPERATURA DE ENSAYO (g)	694.3	695.2
MASA DEL PICNOMETRO, AGUA Y SUELO A LA TEMPERATURA DE ENSAYO (g)	779.5	775.8
GRAVEDAD ESPECIFICA A LA TEMPERATURA DE ENSAYO	2.500	2.476
PROMEDIO DE GRAVEDAD ESPECIFICA A LA TEMPERATURA DE ENSAYO	2.488	

CONTROL INTERNO	CALCULO: S.A.M. FECHA: 25/8/11	REVISO: [Signature] E.U. FECHA: 25/8/11
-----------------	-----------------------------------	--



ANEXO 12. Reporte de Gravedad Específica Sondeo 3 Fundación P. Arrupe.



PETICIONARIO:	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
PROYECTO:	IDENTIFICACIÓN Y E VALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGO S EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN
MUESTRA:	MUESTRA INALTERADA
REFERENCIA:	SONDEO N° 3
FECHA DE SOLICITUD:	15 DE JULIO 2011
FECHA DE ENTREGA:	AGOSTO DE 2011

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SUELOS ASTM D854
MÉTODO "A"

REFERENCIA DE ENSAYO	1	2
TEMPERATURA DE ENSAYO	20° C	20° C
MASA DE SUELO SECO AL HORNO (g)	171.00	156.20
MASA DEL PICNOMETRO Y AGUA A TEMPERATURA DE ENSAYO (g)	694.3	695.2
MASA DEL PICNOMETRO, AGUA Y SUELO A LA TEMPERATURA DE ENSAYO (g)	803.2	794.4
GRAVEDAD ESPECIFICA A LA TEMPERATURA DE ENSAYO	2.754	2.740
PROMEDIO DE GRAVEDAD ESPECIFICA A LA TEMPERATURA DE ENSAYO	2.747	

CONTROL INTERNO
 CALCULO: S.A.M.
 FECHA: 5/8/11
 REVISÓ: P.P.
 F.U. FECHA: 24/8/11



ANEXO 13. Reporte de Gravedad Específica Sondeo 4 Fundación P. Arrupe.



PETICIONARIO:	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
PROYECTO:	IDENTIFICACIÓN Y E VALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN
MUESTRA:	MUESTRA INALTERADA
REFERENCIA:	SONDEO N° 4
FECHA DE SOLICITUD:	15 DE JULIO 2011
FECHA DE ENTREGA:	AGOSTO DE 2011

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SUELOS ASTM D854
MÉTODO "A"

REFERENCIA DE ENSAYO	1	2
TEMPERATURA DE ENSAYO	20° C	20° C
MASA DE SUELO SECO AL HORNO (g)	140.20	142.20
MASA DEL PICNOMETRO Y AGUA A TEMPERATURA DE ENSAYO (g)	694.3	695.2
MASA DEL PICNOMETRO, AGUA Y SUELO A LA TEMPERATURA DE ENSAYO (g)	783.8	785.6
GRAVEDAD ESPECIFICA A LA TEMPERATURA DE ENSAYO	2.765	2.745
PROMEDIO DE GRAVEDAD ESPECIFICA A LA TEMPERATURA DE ENSAYO	2.755	

CONTROL INTERNO

CALCULO:
FECHA:

S.A.M.
31/8/11

REVISO:
FECHA:

PA
31/8/11



ANEXO 14. Reporte de Gravedad Específica Sondeo 5 Fundación P. Arrupe.



PETICIONARIO:	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
PROYECTO:	IDENTIFICACIÓN Y E VALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN
MUESTRA:	MUESTRA INALTERADA
REFERENCIA:	SONDEO N° 5
FECHA DE SOLICITUD:	15 DE JULIO 2011
FECHA DE ENTREGA:	AGOSTO DE 2011

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SUELOS ASTM D854
MÉTODO "A"

REFERENCIA DE ENSAYO	1	2
TEMPERATURA DE ENSAYO	20° C	20° C
MASA DE SUELO SECO AL HORNO (g)	188.40	169.60
MASA DEL PICNOMETRO Y AGUA A TEMPERATURA DE ENSAYO (g)	694.3	695.2
MASA DEL PICNOMETRO, AGUA Y SUELO A LA TEMPERATURA DE ENSAYO (g)	807.3	795.1
GRAVEDAD ESPECIFICA A LA TEMPERATURA DE ENSAYO	2.499	2.433
PROMEDIO DE GRAVEDAD ESPECIFICA A LA TEMPERATURA DE ENSAYO	2.466	

CONTROL INTERNO

CALCULO: S.A.R.A.
FECHA: 5/8/11

REVISO: [Signature]
FECHA: 5/8/11



ANEXO 15. Reporte de Gravedad Específica Sondeo 6 Fundación P. Arrupe.



PETICIONARIO:	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
PROYECTO:	IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN
MUESTRA:	MUESTRA INALTERADA
REFERENCIA:	SONDEO Nº 6
FECHA DE SOLICITUD:	15 DE JULIO 2011
FECHA DE ENTREGA:	AGOSTO DE 2011

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SUELOS ASTM D854
MÉTODO "A"

REFERENCIA DE ENSAYO	1	2
TEMPERATURA DE ENSAYO	20° C	20° C
MASA DE SUELO SECO AL HORNO (g)	188.40	195.60
MASA DEL PICNOMETRO Y AGUA A TEMPERATURA DE ENSAYO (g)	694.3	695.2
MASA DEL PICNOMETRO, AGUA Y SUELO A LA TEMPERATURA DE ENSAYO (g)	812.1	816.7
GRAVEDAD ESPECIFICA A LA TEMPERATURA DE ENSAYO	2.669	2.640
PROMEDIO DE GRAVEDAD ESPECIFICA A LA TEMPERATURA DE ENSAYO	2.654	

CONTROL INTERNO

CALCULO: S.A.M
FECHA: 5/8/11

REVISO: [Signature]
FECHA: 6/8/11



ANEXO 16. Reporte de Corte Directo sondeo 1 Fundación P. Arrupe.

GRUPO DE ENSAYOS DE CORTE DIRECTO			Expediente:	Fecha:								
				03/08/2011								
Peticionario: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR Dirección: Obra: MOVIMIENTO DE LADERA Muestra: SONDEO N°1 Localización: CANTÓN GUALINDO ARRIBA DEL MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, MORAZÁN												
Resultados de los ensayos												
Nombre Ensayo	Densidad g/cm³			Humedad %	Tensión kg/cm²			Sección mm²	Volumen mm³	Velocidad mm/min	Cons.	Sat.
	Aparente	Seca			Tangencial	Corregida	Normal					
UDEES S-1 M3	antes	1,70	1,21	40,40	0,79	0,87	0,70	10.000,00	300.000,00	0,11	No	No
	después	1,70	1,21	40,40								
UDEES S-1 M4	antes	1,75	1,25	40,38	0,82	0,90	0,50	10.000,00	300.000,00	0,11	No	No
	después	1,75	1,25	40,37								
UDEES S-1 M5	antes	1,63	1,16	40,40	0,51	0,56	0,10	10.000,00	300.000,00	0,11	No	No
	después	1,63	1,16	40,40								

Corregida
Ángulo de rozamiento 27,18 29,57 Cohesión 0,48 0,53 kg/cm²

kg/cm² Tensión Tangencial Corregida / Deformación Tangencial

kg/cm² Tensión Tangencial / Tensión Normal

Observaciones: ARCILLA LIMOSA DE MEDIANA PLASTICIDAD CON UN 5-15% DE ARENA DE COLOR CAFÉ OSCURO (CL)

FUNDACIÓN PADRE ARRUPPE

ANEXO 17. Reporte de Corte Directo sondeo 2 Fundación P. Arrupe.

GRUPO DE ENSAYOS DE CORTE DIRECTO				Expediente:	Fecha:							
				02/08/2011								
Peticionario: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR Dirección: Obra: MOVIMIENTO DE LADERA Muestra: S-2 Localización: CANTÓN GUALINDO ARRIBA DEL MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, MORAZÁN												
Resultados de los ensayos												
Nombre Ensayo		Densidad g/cm ³		Humedad %	Tensión kg/cm ²			Sección mm ²	Volumen mm ³	Velocidad mm/min	Cons.	Sat.
		Aparente	Seca		Tangencial	Corregida	Normal					
UDEES S-2 M1	antes	1,79	1,35	32,41	0,71	0,79	0,95	3.166,92	95.007,65	0,10	No	No
	después	1,79	1,35	32,41								
UDEES S2 M2	antes	1,74	1,32	32,41	1,29	1,57	1,58	3.166,92	95.007,65	0,11	No	No
	después	1,74	1,32	32,41								
UDEES S-2 M3	antes	1,69	1,28	32,40	1,55	1,83	2,21	3.166,92	95.007,65	0,11	No	No
	después	1,69	1,28	32,40								

	Corregida	
Ángulo de rozamiento	33,65	39,68
Cohesión	0,13	0,09 kg/cm ²

kg/cm² Tensión Tangencial Corregida / Deformación Tangencial

kg/cm² Tensión Tangencial / Tensión Normal

Observaciones: ARCILLA LIMOSA DE MEDIANA PLASTICIDAD CON GRAVAS. CON UN 10-20% DE ARENA DE COLOR NEGRO (CL)

ANEXO 18. Reporte de Corte Directo sondeo 3 Fundación P. Arrupe.

GRUPO DE ENSAYOS DE CORTE DIRECTO							Expediente:	Fecha:				
							01/08/2011					
Peticionario: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR Dirección: Obra: MOVIMIENTO DE LADERA Muestra: S-3 Localización: CANTÓN GUALINDO ARRIBA DEL MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, MORAZÁN												
Resultados de los ensayos												
Nombre Ensayo		Densidad g/cm ³		Humedad %	Tensión kg/cm ²			Sección mm ²	Volumen mm ³	Velocidad mm/min	Cons.	Sat.
		Aparente	Seca		Tangencial	Corregida	Normal					
UDEES S3 M-1	antes	1,79	1,31	37,39	0,44	0,48	0,30	10.000,00	300.000,00	0,16	No	No
	después	1,79	1,31	37,39								
UDEES S3 M2	antes	1,78	1,30	37,39	0,58	0,65	0,50	10.000,00	300.000,00	0,16	No	No
	después	1,78	1,30	37,39								
UDEES S-3 M3	antes	1,65	1,20	37,40	0,90	0,99	0,70	10.000,00	300.000,00	0,16	No	No
	después	1,65	1,20	37,40								

Angulo de rozamiento	48,96	Corregida	51,64
Cohesión	0,06		0,07 kg/cm ²

kg/cm² Tensión Tangencial Corregida / Deformación Tangencial

kg/cm² Tensión Tangencial / Tensión Normal

Observaciones: ARCILLA LIMOSA DE MEDIANA PLASTICIDAD CON UN 10-20% DE ARENA DE COLOR NEGRO CLARO (CL)

ANEXO 19. Reporte de Corte Directo sondeo 4 Fundación P. Arrupe.

GRUPO DE ENSAYOS DE CORTE DIRECTO				Expediente:	Fecha:							
					01/08/2011							
Peticionario: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR Dirección: Obra: MOVIMIENTO DE LADERA Muestra: S-4 Localización: CANTÓN GUALINDO ARRIBA DEL MUNICIPIO LOLOTIQUILLO, MORAZÁN												
Resultados de los ensayos												
Nombre Ensayo		Densidad g/cm ³		Humedad %	Tensión kg/cm ²			Sección mm ²	Volumen mm ³	Velocidad mm/min	Cons.	Sat.
		Aparente	Seca		Tangencial	Corregida	Normal					
UDEES S-4 M1	antes	1,71	1,19	42,91	0,93	1,13	0,95	3.166,92	95.007,65	0,11	No	No
	después	1,71	1,19	42,91								
UDEES S-4 M2	antes	1,63	1,14	42,91	1,48	1,81	1,58	3.166,92	95.007,65	0,11	No	No
	después	1,63	1,14	42,91								
UDEES S-4 M3	antes	1,63	1,14	42,91	1,48	1,78	2,21	3.166,92	95.007,65	0,11	No	No
	después	1,63	1,14	42,91								

Ángulo de rozamiento	23,84	Corregida	27,10
Cohesión	0,60	0,76	kg/cm ²

Observaciones: ARCILLA LIMOSA DE MEDIANA PLASTICIDAD CON 5-15% DE ARENA DE COLOR CAFÉ OSCURO (CL)

ANEXO 20. Reporte de Corte Directo sondeo 5 Fundación P. Arrupe.

GRUPO DE ENSAYOS DE CORTE DIRECTO					Expediente:	Fecha:						
						01/08/2011						
Peticionario: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR Dirección: Obra: MOVIMIENTO DE LADERA Muestra: S-5 Localización: CANTÓN GUALINDO ARRIBA DEL MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, MORAZÁN												
Resultados de los ensayos												
Nombre Ensayo		Densidad g/cm ³		Humedad %	Tensión kg/cm ²			Sección mm ²	Volumen mm ³	Velocidad mm/min	Cons.	Sat.
		Aparente	Seca		Tangencial	Corregida	Normal					
UDEES S-5	antes	1,61	1,26	28,50	0,55	0,61	0,70	10.000,00	300.000,00	0,11	No	No
	después	1,61	1,26	28,50								
UDEES S-5 M1	antes	1,67	1,30	28,49	0,35	0,38	0,30	10.000,00	300.000,00	0,11	No	No
	después	1,67	1,30	28,49								
UDEES S-5 M2	antes	1,65	1,28	28,49	0,45	0,50	0,50	10.000,00	300.000,00	0,11	No	No
	después	1,65	1,28	28,49								

Angulo de rozamiento	26,99	Corregida	
Cohesión	0,20	29,11	kg/cm ²

kg/cm² Tensión Tangencial Corregida / Deformación Tangencial

kg/cm² Tensión Tangencial / Tensión Normal

Observaciones: ARCILLA LIMOSA DE MEDIANA PLASTICIDAD CON UN 5-15% DE ARENA CAFÉ OSCURO (CL)

ANEXO 21. Reporte de Corte Directo sondeo 6 Fundación P. Arrupe.

GRUPO DE ENSAYOS DE CORTE DIRECTO				Expediente:	Fecha:							
					01/08/2011							
Peticionario:		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR										
Dirección:												
Obra:		MOVIMIENTO DE LA DERA		Muestra: S-6								
Localización: CANTÓN GUALINDO ARRIBA DEL MUNICIPIO LOLOTIQUILLO, MORAZÁN												
Resultados de los ensayos												
Nombre Ensayo		Densidad g/cm ³		Humedad %	Tensión kg/cm ²			Sección mm ²	Volumen mm ³	Velocidad mm/min	Cons.	Sat.
		Aparente	Seca		Tangencial	Corregida	Normal					
UDEES S-6 M1	antes	1,58	1,13	40,27	0,33	0,37	0,30	10.000,00	300.000,00	0,11	No	No
	después	1,58	1,13	40,27								
UDEES S-6 M2	antes	1,74	1,24	40,27	0,55	0,61	0,50	10.000,00	300.000,00	0,11	No	No
	después	1,74	1,24	40,27								
UDEES S-6 M3	antes	1,63	1,16	40,27	0,55	0,61	0,70	10.000,00	300.000,00	0,11	No	No
	después	1,63	1,16	40,27								

		Corregida
Ángulo de rozamiento	29,03	31,22
Cohesión	0,20	0,23 kg/cm ²

kg/cm² Tensión Tangencial Corregida / Deformación Tangencial

kg/cm² Tensión Tangencial / Tensión Normal

Observaciones:
LIMO ARCILLOSO DE MEDIANA PLASTICIDAD CON 15-25% DE ARENA DE COLOR NEGRO CLARO (ML")

FUNDACIÓN PADRE ARRUPÉ

ANEXO 22. Reporte 1 para Compresión Triaxial sondeo 1 Fundación P. Arrupe.



ENSAYO:		ASTM D 2850						
PETICIONARIO:		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR						
PROYECTO:		IDENTIFICACION Y EVALUACION DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTON GUALINDO ARRIBA, MUN. DE LOLOTIQUILLO, DEP. DE MORAZAN.						
UBICACIÓN		SONDEO # 1						
PROFUNDIDAD:		-						
Diámetro 1 (mm)	36	Altura 1 (mm)	71	Promedio diámetro (mm)	37	Área inicial (cm ²)	10.6	
Diámetro 2 (mm)	37	Altura 2 (mm)	71					
Diámetro 3 (mm)	37	Altura 3 (mm)	71	Promedio altura (mm)	71	Altura inicial (cm)	7.1	
Constante deformación (mm)	0.01	Peso (g)	124.4	Volumen (cm ³)	75.0	Peso Vol. Hum.(g/cm ³)	1.66	
Humedad (%)	41.36	Peso Vol. Seco (g/cm ³)	1.17	GE	2.79	Saturación (%)	83.81	
PRESIÓN 1.0 kg/cm2								
Deformación (div)	Deformación (mm)	Deformación (cm)	Fuerza (div)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	ε	A (cm ²)	Esfuerzo desviador (kg/cm ²)
7	0.07	0.007	0	2.59	0.26	0.00	10.6	0.03
15	0.15	0.015	1	14.75	1.51	0.00	10.6	0.14
23	0.23	0.023	2	26.83	2.74	0.00	10.6	0.26
31	0.31	0.031	2	26.83	2.74	0.00	10.6	0.26
38	0.38	0.038	3	38.83	3.96	0.01	10.6	0.37
45	0.45	0.045	3	38.83	3.96	0.01	10.6	0.37
53	0.53	0.053	4	50.75	5.18	0.01	10.6	0.49
60	0.6	0.060	4	50.75	5.18	0.01	10.6	0.49
67	0.67	0.067	4	50.75	5.18	0.01	10.7	0.49
74	0.74	0.074	5	62.60	6.39	0.01	10.7	0.60
82	0.82	0.082	5	62.60	6.39	0.01	10.7	0.60
90	0.9	0.09	6	74.36	7.59	0.01	10.69	0.71
97	0.97	0.097	6	74.36	7.59	0.01	10.71	0.71
104	1.04	0.104	6	74.36	7.59	0.01	10.72	0.71
111	1.11	0.111	7	86.05	8.78	0.02	10.73	0.82
118	1.18	0.118	7	86.05	8.78	0.02	10.74	0.82
126	1.26	0.126	7	86.05	8.78	0.02	10.75	0.82
133	1.33	0.133	7	86.05	8.78	0.02	10.76	0.82
140	1.4	0.14	7	86.05	8.78	0.02	10.77	0.82

Calle Padre Salazar-Simpson, Finca El Espíritu Santo, Soyapango, San Salvador, El Salvador, C.A.
 Teléfono: (503) 2516-6800 y Fax: (503) 2516-6801
 www.ctapadrearupe.com
 fgallegos@activaelsalvador.com.sv



IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN

ANEXO 23. Reporte 2 para Compresión Triaxial sondeo 1 Fundación P. Arrupe.



ENSAYO:		ASTM D 2850						
PETICIONARIO:		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR						
PROYECTO:		IDENTIFICACION Y EVALUACION DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTON GUALINDO ARRIBA, MUN. DE LOLOTIQUILLO, DEP. DE MORAZAN.						
UBICACIÓN		SONDEO # 1						
PROFUNDIDAD:		-						
Diámetro 1 (mm)	36	Altura 1 (mm)	72	Promedio diámetro (mm)	36	Área inicial (cm ²)	10.2	
Diámetro 2 (mm)	36	Altura 2 (mm)	72					
Diámetro 3 (mm)	36	Altura 3 (mm)	71	Promedio altura (mm)	72	Altura inicial (cm)	7.2	
Constante deformación (mm)	0.01	Peso (g)	123.8	Volumen (cm ³)	72.9	Peso Vol. Hum.(g/cm ³)	1.70	
Humedad (%)	41.41	Peso Vol. Seco (g/cm ³)	1.20	GE	2.79	Saturación (%)	87.21	
PRESIÓN 1.5 kg/cm²								
Deformación (div)	Deformación (mm)	Deformación (cm)	Fuerza (div)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	ε	A (cm ²)	Esfuerzo desviador (kg/cm ²)
7	0.07	0.007	1	14.75	1.51	0.00	10.2	0.15
14	0.14	0.014	1	14.75	1.51	0.00	10.2	0.15
22	0.22	0.022	2	26.83	2.74	0.00	10.2	0.27
30	0.3	0.030	2	26.83	2.74	0.00	10.2	0.27
38	0.38	0.038	2	26.83	2.74	0.01	10.2	0.27
45	0.45	0.045	2	26.83	2.74	0.01	10.2	0.27
52	0.52	0.052	3	38.83	3.96	0.01	10.3	0.39
60	0.6	0.060	3	38.83	3.96	0.01	10.3	0.39
68	0.68	0.068	3	38.83	3.96	0.01	10.3	0.39
76	0.76	0.076	3	38.83	3.96	0.01	10.3	0.39
83	0.83	0.083	4	50.75	5.18	0.01	10.3	0.50
90	0.9	0.09	5	62.60	6.39	0.01	10.3	0.62
98	0.98	0.098	6	74.36	7.59	0.01	10.3	0.74
107	1.07	0.107	7	86.05	8.78	0.01	10.3	0.85
115	1.15	0.115	7	86.05	8.78	0.02	10.3	0.85
122	1.22	0.122	8	97.66	9.97	0.02	10.4	0.96
130	1.3	0.13	8	97.66	9.97	0.02	10.4	0.96
138	1.38	0.138	8	97.66	9.97	0.02	10.4	0.96
146	1.46	0.146	9	109.19	11.14	0.02	10.4	1.07
154	1.54	0.154	9	109.19	11.14	0.02	10.4	1.07
162	1.62	0.162	9	109.19	11.14	0.02	10.4	1.07
169	1.69	0.169	9	109.19	11.14	0.02	10.4	1.07
177	1.77	0.177	9	109.19	11.14	0.02	10.4	1.07

Calle Padre Salazar-Simpson, Finca El Espíritu Santo, Soyapango, San Salvador, El Salvador, C.A.
 Teléfono: (503) 2516-6800 y Fax: (503) 2516-6801
 www.ctapadrearupe.com
 fgallegos@activaelsalvador.com.sv



ANEXO 24. Reporte 3 para Compresión Triaxial sondeo 1 Fundación P. Arrupe.

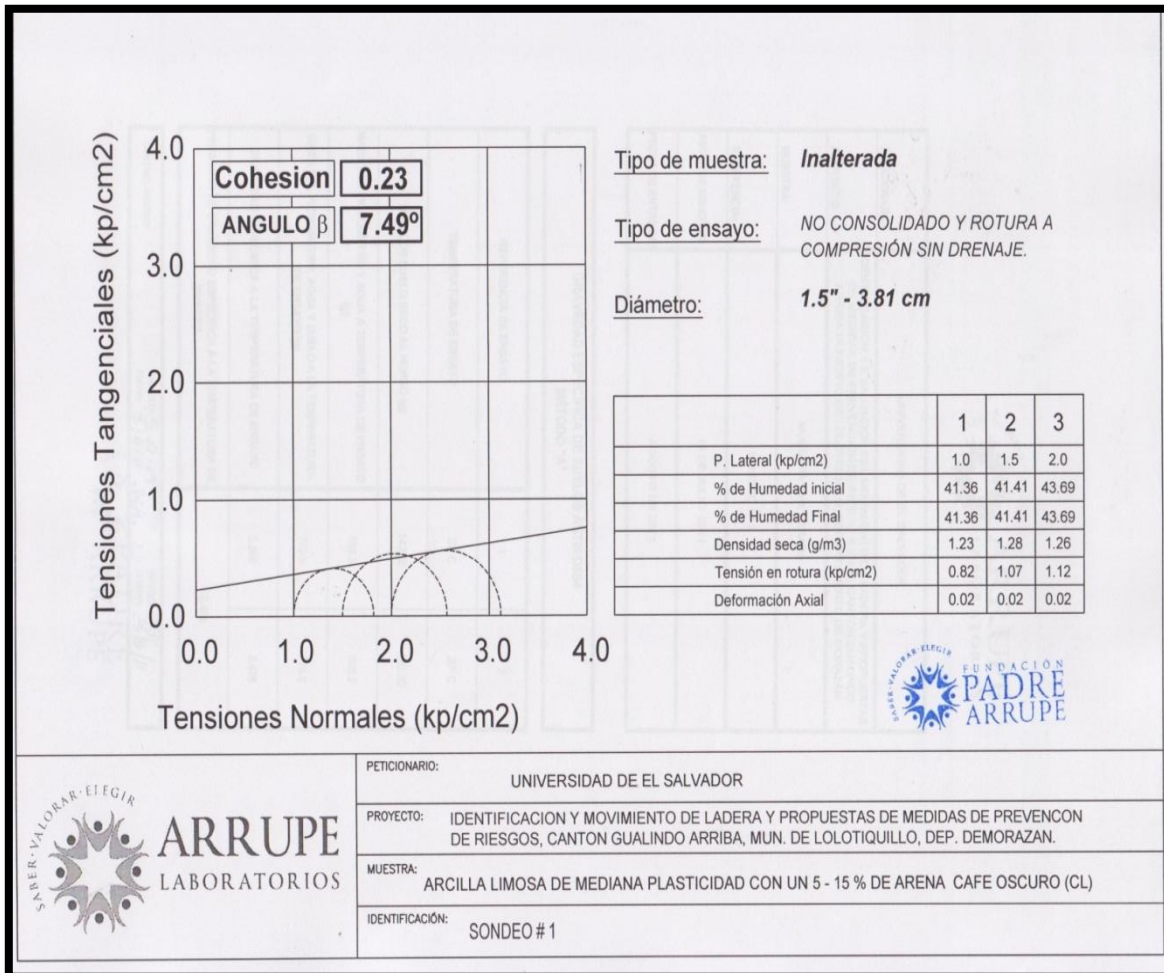


ENSAYO:		ASTM D 2850						
PETICIONARIO:		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR						
PROYECTO:		IDENTIFICACION Y EVALUACION DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTON GUALINDO ARRIBA, MUN. DE LOLOTIQUILLO, DEP. DE MORAZAN.						
UBICACIÓN		SONDEO # 1						
PROFUNDIDAD:		-						
Diámetro 1 (mm)	37	Altura 1 (mm)	72	Promedio diámetro (mm)	37	Área inicial (cm)	10.8	
Diámetro 2 (mm)	37	Altura 2 (mm)	72					
Diámetro 3 (mm)	37	Altura 3 (mm)	72	Promedio altura (mm)	72	Altura inicial (cm)	7.2	
Constante deformación (mm)	0.01	Peso (g)	123.2	Volumen (cm ³)	77.4	Peso Vol. Hum.(g/cm ³)	1.59	
Humedad (%)	43.69	Peso Vol. Seco (g/cm ³)	1.11	GE	2.79	Saturación (%)	80.24	
PRESIÓN 2.0 kg/cm2								
Deformación (div)	Deformación (mm)	Deformación (cm)	Fuerza (div)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	ε	A (cm2)	Esfuerzo desviador (kg/cm2)
6	0.06	0.006	0	2.59	0.26	0.00	10.8	0.02
14	0.14	0.014	1	14.75	1.51	0.00	10.8	0.14
22	0.22	0.022	2	26.83	2.74	0.00	10.8	0.25
30	0.3	0.030	3	38.83	3.96	0.00	10.8	0.37
37	0.37	0.037	4	50.75	5.18	0.01	10.8	0.48
44	0.44	0.044	5	62.60	6.39	0.01	10.8	0.59
52	0.52	0.052	5	62.60	6.39	0.01	10.8	0.59
60	0.6	0.060	6	74.36	7.59	0.01	10.8	0.70
68	0.68	0.068	6	74.36	7.59	0.01	10.9	0.70
75	0.75	0.075	7	86.05	8.78	0.01	10.9	0.81
83	0.83	0.083	7	86.05	8.78	0.01	10.9	0.81
89	0.89	0.089	8	97.66	9.97	0.01	10.9	0.92
97	0.97	0.097	8	97.66	9.97	0.01	10.9	0.91
105	1.05	0.105	8	97.66	9.97	0.01	10.9	0.91
113	1.13	0.113	9	109.19	11.14	0.02	10.9	1.02
121	1.21	0.121	9	109.19	11.14	0.02	10.9	1.02
128	1.28	0.128	10	120.65	12.31	0.02	10.9	1.12
136	1.36	0.136	10	120.65	12.31	0.02	11.0	1.12
148	1.48	0.148	10	120.65	12.31	0.02	11.0	1.12
150	1.5	0.15	10	120.65	12.31	0.02	11.0	1.12
158	1.58	0.158	10	120.65	12.31	0.02	11.0	1.12

Deformación Axial



ANEXO 26. Reporte 5 para Compresión Triaxial sondeo 1 Fundación P. Arrupe.



IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN

ANEXO 27. Reporte 1 para Compresión Triaxial sondeo 2 Fundación P. Arrupe.



ENSAYO:			ASTM D 2850					
PETICIONARIO:			UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR					
PROYECTO:			IDENTIFICACION Y EVALUACION DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTON GUALINDO ARRIBA, MUN. DE LOLOTIQUILLO, DEP. DE MORAZAN.					
UBICACIÓN:			SONDEO # 2					
PROFUNDIDAD:			-					
Diámetro 1 (mm)	37	Altura 1 (mm)	70	Promedio diámetro (mm)	37	Área inicial (cm)	10.8	
Diámetro 2 (mm)	37	Altura 2 (mm)	70					
Diámetro 3 (mm)	37	Altura 3 (mm)	70	Promedio altura (mm)	70	Altura inicial (cm)	7.0	
Constante deformación (mm)	0.01	Peso (g)	126.8	Volumen (cm ³)	75.3	Peso Vol. Hum.(g/cm ³)	1.68	
Humedad (%)	33.61	Peso Vol. Seco (g/cm ³)	1.26	GE	2.488	Saturación (%)	85.93	
PRESION 1.0 kg/cm2								
Deformación (div)	Deformación (mm)	Deformación (cm)	Fuerza (div)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	ε	A (cm ²)	Esfuerzo desviador (kg/cm ²)
7	0.07	0.007	0	2.59	0.26	0.00	10.8	0.02
14	0.14	0.014	0	2.59	0.26	0.00	10.8	0.02
21	0.21	0.021	1	14.75	1.51	0.00	10.8	0.14
29	0.29	0.029	1	14.75	1.51	0.00	10.8	0.14
37	0.37	0.037	2	26.83	2.74	0.01	10.8	0.25
45	0.45	0.045	2	26.83	2.74	0.01	10.8	0.25
52	0.52	0.052	2	26.83	2.74	0.01	10.8	0.25
60	0.6	0.060	3	38.83	3.96	0.01	10.8	0.37
67	0.67	0.067	3	38.83	3.96	0.01	10.9	0.36
74	0.74	0.074	3	38.83	3.96	0.01	10.9	0.36
83	0.83	0.083	4	50.75	5.18	0.01	10.9	0.48
90	0.9	0.09	4	50.75	5.18	0.01	10.89	0.48
97	0.97	0.097	4	50.75	5.18	0.01	10.90	0.47
104	1.04	0.104	5	62.60	6.39	0.01	10.91	0.59
112	1.12	0.112	5	62.60	6.39	0.02	10.93	0.58
119	1.19	0.119	5	62.60	6.39	0.02	10.94	0.58
126	1.26	0.126	5	62.60	6.39	0.02	10.95	0.58
134	1.34	0.134	6	74.36	7.59	0.02	10.96	0.69
141	1.41	0.141	6	74.36	7.59	0.02	10.97	0.69
149	1.49	0.149	6	74.36	7.59	0.02	10.99	0.69
156	1.56	0.156	6	74.36	7.59	0.02	11.00	0.69
163	1.63	0.163	7	86.05	8.78	0.02	11.01	0.80
170	1.7	0.17	7	86.05	8.78	0.02	11.02	0.80
178	1.78	0.178	7	86.05	8.78	0.03	11.03	0.80
185	1.85	0.185	7	86.05	8.78	0.03	11.04	0.80
193	1.93	0.193	7	86.05	8.78	0.03	11.06	0.79
201	2.01	0.201	7	86.05	8.78	0.03	11.07	0.79

Calle Padre Salazar-Simpson, Finca El Espíritu Santo, Soyapango, San Salvador, El Salvador, C.A.
 Teléfono: (503) 2516-6800 y Fax: (503) 2516-6801
 www.ctapadrearupe.com
 fgallejos@activaelsalvador.com.sv



IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN

ANEXO 28. Reporte 2 para Compresión Triaxial sondeo 2 Fundación P. Arrupe.



ENSAYO:		ASTM D 2850						
PETICIONARIO:		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR						
PROYECTO:		IDENTIFICACION Y EVALUACION DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTON GUALINDO ARRIBA, MUN. DE LOLOTIQUILLO, DEP. DE MORAZAN.						
UBICACIÓN		SONDEO # 2						
PROFUNDIDAD:		-						
Diámetro 1 (mm)	36	Altura 1 (mm)	70	Promedio diámetro (mm)	36	Área inicial (cm)	10.4	
Diámetro 2 (mm)	36	Altura 2 (mm)	70					
Diámetro 3 (mm)	37	Altura 3 (mm)	71	Promedio altura (mm)	70	Altura inicial (cm)	7.0	
Constante deformación (mm)	0.01	Peso (g)	127.6	Volumen (cm ³)	72.9	Peso Vol. Hum. (g/cm ³)	1.75	
Humedad (%)	34.23	Peso Vol. Seco (g/cm ³)	1.30	GE	2.488	Saturación (%)	93.73	
PRESIÓN 1.5 kg/cm2								
Deformación (div)	Deformación (mm)	Deformación (cm)	Fuerza (div)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	ε	A (cm2)	Esfuerzo desviador (kg/cm2)
7	0.07	0.007	0	2.59	0.26	0.00	10.4	0.03
15	0.15	0.015	0	2.59	0.26	0.00	10.4	0.03
22	0.22	0.022	1	14.75	1.51	0.00	10.4	0.14
29	0.29	0.029	1	14.75	1.51	0.00	10.4	0.14
36	0.36	0.036	2	26.83	2.74	0.01	10.4	0.26
43	0.43	0.043	2	26.83	2.74	0.01	10.4	0.26
51	0.51	0.051	3	38.83	3.96	0.01	10.4	0.38
59	0.59	0.059	3	38.83	3.96	0.01	10.5	0.38
66	0.66	0.066	4	50.75	5.18	0.01	10.5	0.49
74	0.74	0.074	4	50.75	5.18	0.01	10.5	0.49
81	0.81	0.081	4	50.75	5.18	0.01	10.5	0.49
89	0.89	0.089	5	62.60	6.39	0.01	10.5	0.61
97	0.97	0.097	5	62.60	6.39	0.01	10.5	0.61
105	1.05	0.105	5	62.60	6.39	0.01	10.5	0.61
112	1.12	0.112	6	74.36	7.59	0.02	10.5	0.72
119	1.19	0.119	6	74.36	7.59	0.02	10.5	0.72
126	1.26	0.126	6	74.36	7.59	0.02	10.6	0.72
133	1.33	0.133	7	86.05	8.78	0.02	10.6	0.83
140	1.4	0.14	7	86.05	8.78	0.02	10.6	0.83
148	1.48	0.148	7	86.05	8.78	0.02	10.6	0.83
156	1.56	0.156	8	97.66	9.97	0.02	10.6	0.94
163	1.63	0.163	8	97.66	9.97	0.02	10.6	0.94
170	1.7	0.17	8	97.66	9.97	0.02	10.6	0.94
178	1.78	0.178	8	97.66	9.97	0.03	10.6	0.94
186	1.86	0.186	9	109.19	11.14	0.03	10.6	1.05
193	1.93	0.193	9	109.19	11.14	0.03	10.7	1.05
200	2	0.2	9	109.19	11.14	0.03	10.7	1.04
207	2.07	0.207	9	109.19	11.14	0.03	10.7	1.04
215	2.15	0.215	9	109.19	11.14	0.03	10.7	1.04
222	2.22	0.222	9	109.19	11.14	0.03	10.7	1.04

Calle Padre Salazar-Simpson, Finca El Espíritu Santo, Soyapango, San Salvador, El Salvador, C.A.
 Teléfono: (503) 2516-6800 y Fax: (503) 2516-6801
 www.ctapadrearupe.com
 fgallagos@activaelsalvador.com.sv



ANEXO 29. Reporte 3 para Compresión Triaxial sondeo 2 Fundación P. Arrupe.

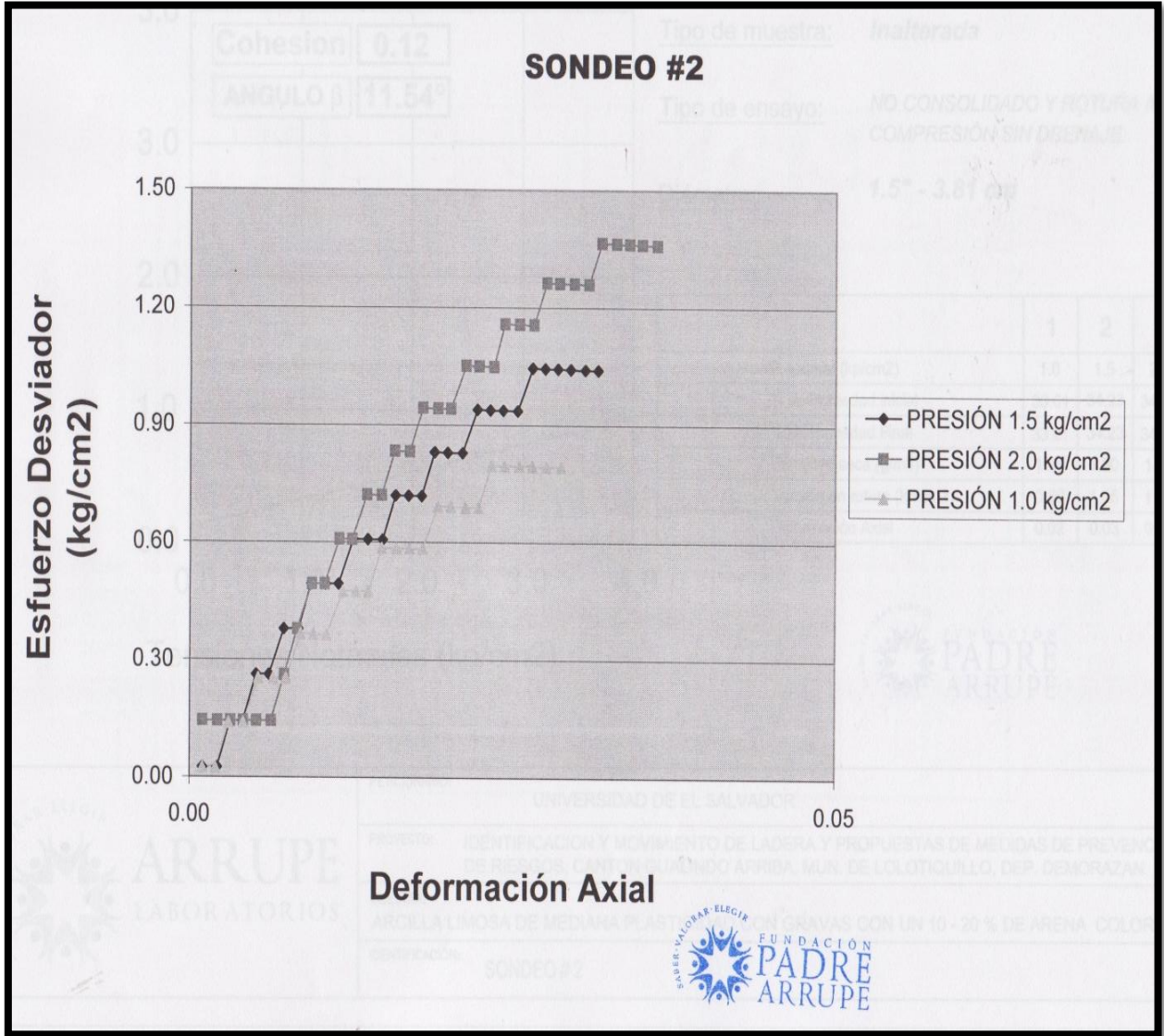


ENSAYO:		ASTM D 2850						
PETICIONARIO:		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR						
PROYECTO:		IDENTIFICACION Y EVALUACION DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTON GUALINDO ARRIBA, MUN. DE LOLOTIQUILLO, DEP. DE MORAZAN.						
UBICACIÓN		SONDEO # 2						
PROFUNDIDAD:		-						
Diámetro 1 (mm)	36	Altura 1 (mm)	70	Promedio diámetro (mm)	36	Área inicial (cm)	10.4	
Diámetro 2 (mm)	36	Altura 2 (mm)	70					
Diámetro 3 (mm)	37	Altura 3 (mm)	70	Promedio altura (mm)	70	Altura inicial (cm)	7.0	
Constante deformación (mm)	0.01	Peso (g)	128.2	Volumen (cm ³)	72.6	Peso Vol. Hum.(g/cm ³)	1.77	
Humedad (%)	34.16	Peso Vol. Seco (g/cm ³)	1.32	GE	2.488	Saturación (%)	95.53	
PRESIÓN 2.0 kg/cm2								
Deformación (div)	Deformación (mm)	Deformación (cm)	Fuerza (div)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	ε	A (cm2)	Esfuerzo desviador (kg/cm2)
7	0.07	0.007	1	14.75	1.51	0.00	10.4	0.15
15	0.15	0.015	1	14.75	1.51	0.00	10.4	0.14
22	0.22	0.022	1	14.75	1.51	0.00	10.4	0.14
29	0.29	0.029	1	14.75	1.51	0.00	10.4	0.14
36	0.36	0.036	1	14.75	1.51	0.01	10.4	0.14
44	0.44	0.044	1	14.75	1.51	0.01	10.4	0.14
51	0.51	0.051	2	26.83	2.74	0.01	10.4	0.26
58	0.58	0.058	3	38.83	3.96	0.01	10.5	0.38
66	0.66	0.066	4	50.75	5.18	0.01	10.5	0.49
73	0.73	0.073	4	50.75	5.18	0.01	10.5	0.49
81	0.81	0.081	5	62.60	6.39	0.01	10.5	0.61
88	0.88	0.088	5	62.60	6.39	0.01	10.5	0.61
96	0.96	0.096	6	74.36	7.59	0.01	10.5	0.72
104	1.04	0.104	6	74.36	7.59	0.01	10.5	0.72
111	1.11	0.111	7	86.05	8.78	0.02	10.5	0.83
119	1.19	0.119	7	86.05	8.78	0.02	10.5	0.83
126	1.26	0.126	8	97.66	9.97	0.02	10.6	0.94
134	1.34	0.134	8	97.66	9.97	0.02	10.6	0.94
141	1.41	0.141	8	97.66	9.97	0.02	10.6	0.94
149	1.49	0.149	9	109.19	11.14	0.02	10.6	1.05
156	1.56	0.156	9	109.19	11.14	0.02	10.6	1.05
164	1.64	0.164	9	109.19	11.14	0.02	10.6	1.05
170	1.7	0.17	10	120.65	12.31	0.02	10.6	1.16
178	1.78	0.178	10	120.65	12.31	0.03	10.6	1.16
186	1.86	0.186	10	120.65	12.31	0.03	10.7	1.16
193	1.93	0.193	11	132.02	13.47	0.03	10.7	1.26
200	2	0.2	11	132.02	13.47	0.03	10.7	1.26
208	2.08	0.208	11	132.02	13.47	0.03	10.7	1.26
216	2.16	0.216	11	132.02	13.47	0.03	10.7	1.26
223	2.23	0.223	12	143.32	14.62	0.03	10.7	1.37
231	2.31	0.231	12	143.32	14.62	0.03	10.7	1.36
238	2.38	0.238	12	143.32	14.62	0.03	10.7	1.36
245	2.45	0.245	12	143.32	14.62	0.04	10.7	1.36
253	2.53	0.253	12	143.32	14.62	0.04	10.8	1.36

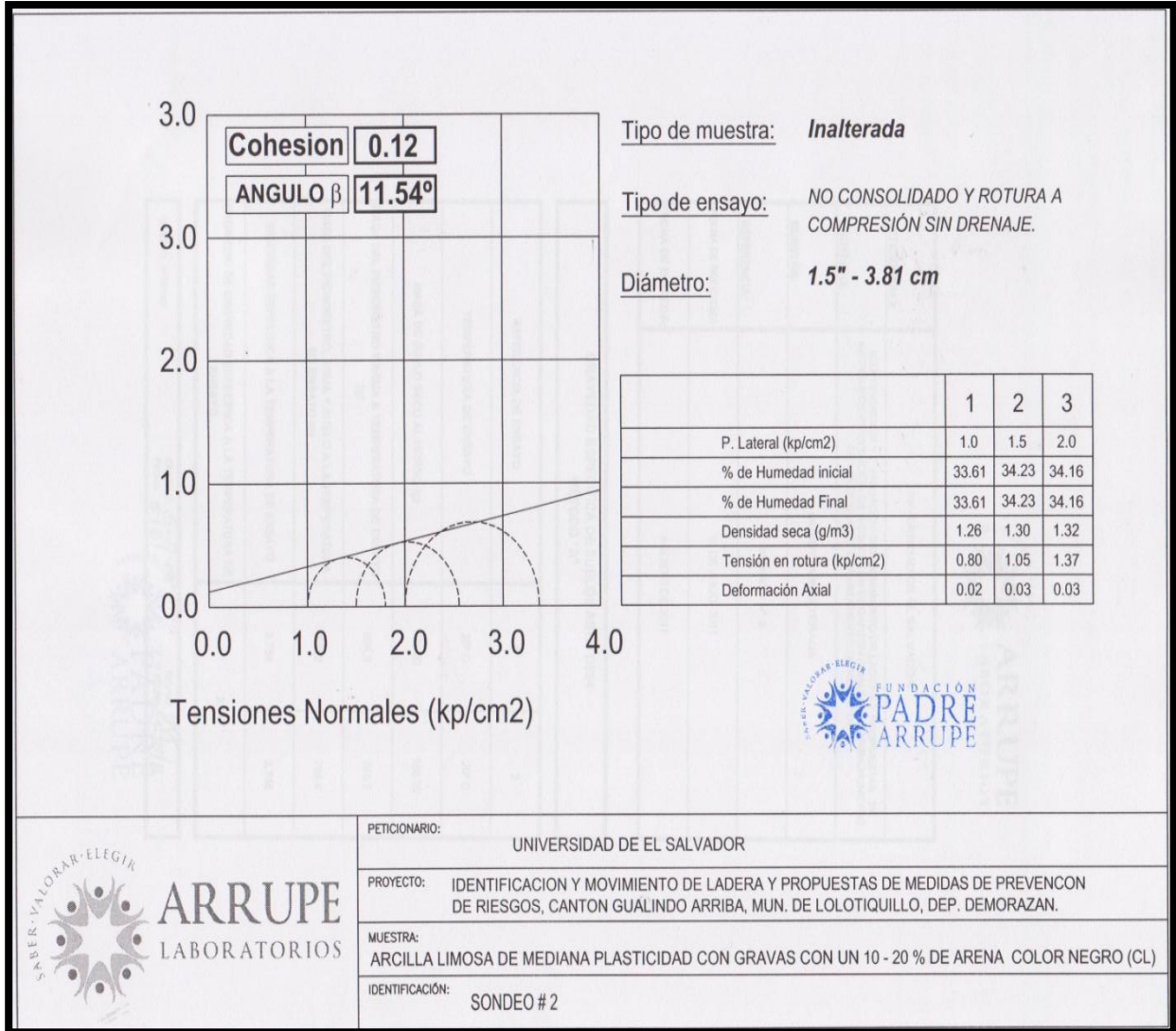
Deformación Axial



ANEXO 30. Reporte 4 para Compresión Triaxial sondeo 2 Fundación P. Arrupe.



ANEXO 31. Reporte 5 para Compresión Triaxial sondeo 2 Fundación P. Arrupe.



PETICIONARIO:	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
PROYECTO:	IDENTIFICACION Y MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCON DE RIESGOS, CANTON GUALINDO ARRIBA, MUN. DE LOLOTIQUILLO, DEP. DEMORAZAN.
MUESTRA:	ARCILLA LIMOSA DE MEDIANA PLASTICIDAD CON GRAVAS CON UN 10 - 20 % DE ARENA COLOR NEGRO (CL)
IDENTIFICACIÓN:	SONDEO # 2

ANEXO 32. Reporte 1 para Compresión Triaxial sondeo 3 Fundación P. Arrupe.



ENSAYO:		ASTM D 2850						
PETICIONARIO:		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR						
PROYECTO:		IDENTIFICACION Y EVALUACION DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTON GUALINDO ARRIBA, MUN. DE LOLOTIQUILLO, DEP. DE MORAZAN.						
UBICACIÓN		SONDEO # 3						
PROFUNDIDAD:		-						
Diámetro 1 (mm)	36	Altura 1 (mm)	71	Promedio diámetro (mm)	36	Área inicial (cm)	10.2	
Diámetro 2 (mm)	36	Altura 2 (mm)	71					
Diámetro 3 (mm)	36	Altura 3 (mm)	71	Promedio altura (mm)	71	Altura inicial (cm)	7.1	
Constante deformación (mm)	0.01	Peso (g)	123	Volumen (cm ³)	72.3	Peso Vol. Hum.(g/cm ³)	1.70	
Humedad (%)	32.97	Peso Vol. Seco (g/cm ³)	1.28	GE	2.747	Saturación (%)	79.02	
PRESIÓN 1.0 kg/cm2								
Deformación (div)	Deformación (mm)	Deformación (cm)	Fuerza (div)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	ε	A (cm2)	Esfuerzo desviador (kg/cm2)
9	0.09	0.009	0	2.59	0.26	0.00	10.2	0.03
15	0.15	0.015	1	14.75	1.51	0.00	10.2	0.15
23	0.23	0.023	1	14.75	1.51	0.00	10.2	0.15
31	0.31	0.031	2	28.83	2.74	0.00	10.2	0.27
38	0.38	0.038	2	28.83	2.74	0.01	10.2	0.27
45	0.45	0.045	3	38.83	3.96	0.01	10.2	0.39
53	0.53	0.053	3	38.83	3.96	0.01	10.3	0.39
60	0.6	0.060	4	50.75	5.18	0.01	10.3	0.50
68	0.68	0.068	4	50.75	5.18	0.01	10.3	0.50
75	0.75	0.075	5	62.60	6.39	0.01	10.3	0.62
83	0.83	0.083	5	62.60	6.39	0.01	10.3	0.62
90	0.9	0.09	5	74.15	7.57	0.01	10.31	0.73
98	0.98	0.098	6	84.46	8.62	0.01	10.32	0.84
106	1.06	0.106	6	84.46	8.62	0.01	10.33	0.83
113	1.13	0.113	6	84.46	8.62	0.02	10.34	0.83
120	1.2	0.12	6	84.46	8.62	0.02	10.35	0.83
127	1.27	0.127	6	84.46	8.62	0.02	10.36	0.83

Calle Padre Salazar-Simpson, Finca El Espíritu Santo, Soyapango, San Salvador, El Salvador, C.A.
Teléfono: (503) 2516-6800 y Fax: (503) 2516-6801
www.ctopadrearupe.com
fgallegos@activaelsalvador.com.sv



ANEXO 33. Reporte 2 para Compresión Triaxial sondeo 3 Fundación P. Arrupe.



ENSAYO:		ASTM D 2850						
PETICIONARIO:		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR						
PROYECTO:		IDENTIFICACION Y EVALUACION DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTON GUALINDO ARRIBA, MUN. DE LOLOTIQUILLO, DEP. DE MORAZAN.						
UBICACIÓN:		SONDEO # 3						
PROFUNDIDAD:		-						
Diámetro 1 (mm)	36	Altura 1 (mm)	71	Promedio diámetro (mm)	36	Área inicial (cm)	10.4	
Diámetro 2 (mm)	36	Altura 2 (mm)	71					
Diámetro 3 (mm)	37	Altura 3 (mm)	70	Promedio altura (mm)	71	Altura inicial (cm)	7.1	
Constante deformación (mm)	0.01	Peso (g)	125	Volumen (cm ³)	73.3	Peso Vol. Hum. (g/cm ³)	1.71	
Humedad (%)	33.9	Peso Vol. Seco (g/cm ³)	1.27	GE	2.747	Saturación (%)	80.56	
PRESIÓN 1.5 kg/cm2								
Deformación (div)	Deformación (mm)	Deformación (cm)	Fuerza (div)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	ε	A (cm ²)	Esfuerzo desviador (kg/cm ²)
6	0.06	0.006	0	2.59	0.26	0.00	10.4	0.03
13	0.13	0.013	0	2.59	0.26	0.00	10.4	0.03
21	0.21	0.021	1	14.75	1.51	0.00	10.4	0.14
28	0.28	0.028	1	14.75	1.51	0.00	10.4	0.14
35	0.35	0.035	2	26.83	2.74	0.00	10.4	0.26
42	0.42	0.042	3	38.83	3.96	0.01	10.4	0.38
48	0.48	0.048	3	38.83	3.96	0.01	10.4	0.38
54	0.54	0.054	4	50.75	5.18	0.01	10.4	0.50
62	0.62	0.062	4	50.75	5.18	0.01	10.5	0.50
70	0.7	0.070	5	62.60	6.39	0.01	10.5	0.61
77	0.77	0.077	5	62.60	6.39	0.01	10.5	0.61
85	0.85	0.085	6	74.36	7.59	0.01	10.5	0.72
91	0.91	0.091	6	74.36	7.59	0.01	10.5	0.72
99	0.99	0.099	6	74.36	7.59	0.01	10.5	0.72
107	1.07	0.107	7	86.05	8.78	0.02	10.5	0.83
115	1.15	0.115	7	86.05	8.78	0.02	10.5	0.83
122	1.22	0.122	7	86.05	8.78	0.02	10.6	0.83
130	1.3	0.13	8	97.66	9.97	0.02	10.6	0.94
138	1.38	0.138	8	97.66	9.97	0.02	10.6	0.94
144	1.44	0.144	8	97.66	9.97	0.02	10.6	0.94
150	1.5	0.15	8	97.66	9.97	0.02	10.6	0.94
156	1.56	0.156	8	97.66	9.97	0.02	10.6	0.94

Calle Padre Salazar-Simpson, Finca El Espíritu Santo, Soyapango, San Salvador, El Salvador, C.A.
 Teléfono: (503) 2516-6800 y Fax: (503) 2516-6801
 www.ctapadrearupe.com
 fgallagos@activaelsalvador.com.sv



ANEXO 34. Reporte 3 para Compresión Triaxial sondeo 3 Fundación P. Arrupe.

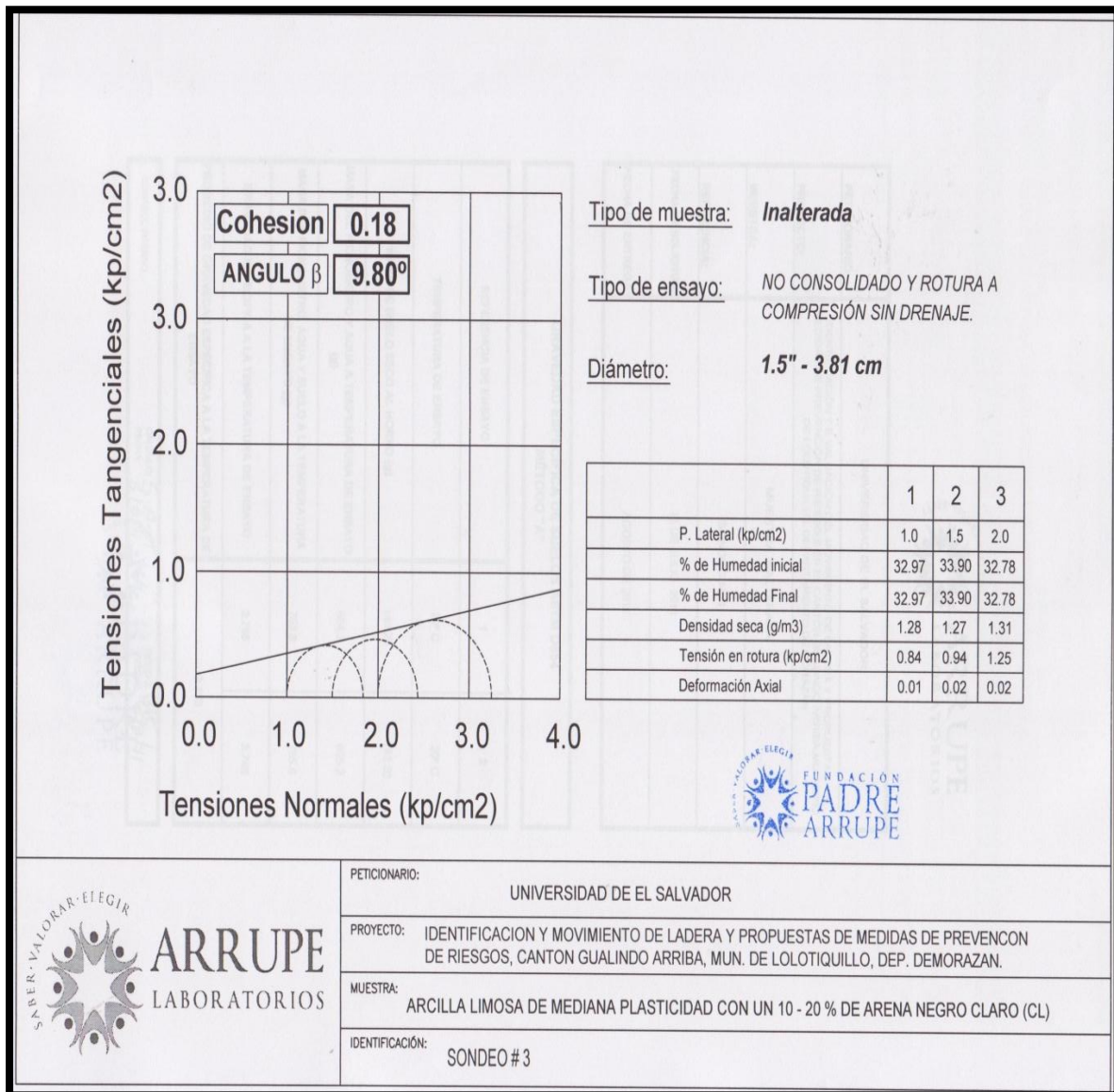


ENSAYO:			ASTM D 2850					
PETICIONARIO:			UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR					
PROYECTO:			IDENTIFICACION Y EVALUACION DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTON GUALINDO ARRIBA, MUN. DE LOLOTIQUILLO, DEP. DE MORAZAN.					
UBICACIÓN			SONDEO # 3					
PROFUNDIDAD:			-					
Diámetro 1 (mm)	36	Altura 1 (mm)	71	Promedio diámetro (mm)	37	Área inicial (cm ²)	10.6	
Diámetro 2 (mm)	37	Altura 2 (mm)	71					
Diámetro 3 (mm)	37	Altura 3 (mm)	70	Promedio altura (mm)	71	Altura inicial (cm)	7.1	
Constante deformación (mm)	0.01	Peso (g)	129.8	Volumen (cm ³)	74.6	Peso Vol. Hum. (g/cm ³)	1.74	
Humedad (%)	32.78	Peso Vol. Seco (g/cm ³)	1.31	GE	2.747	Saturación (%)	82.10	
PRESIÓN 2.0 kg/cm2								
Deformación (div)	Deformación (mm)	Deformación (cm)	Fuerza (div)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	ε	A (cm ²)	Esfuerzo desviador (kg/cm ²)
6	0.06	0.006	0	2.59	0.26	0.00	10.6	0.03
12	0.12	0.012	0	2.59	0.26	0.00	10.6	0.03
16	0.16	0.016	1	14.75	1.51	0.00	10.6	0.14
25	0.25	0.025	1	14.75	1.51	0.00	10.6	0.14
31	0.31	0.031	2	26.83	2.74	0.00	10.6	0.26
37	0.37	0.037	3	38.83	3.96	0.01	10.6	0.37
42	0.42	0.042	4	50.75	5.18	0.01	10.6	0.49
48	0.48	0.048	5	62.60	6.39	0.01	10.6	0.60
55	0.55	0.055	6	74.36	7.59	0.01	10.6	0.71
62	0.62	0.062	6	74.36	7.59	0.01	10.7	0.71
69	0.69	0.069	6	74.36	7.59	0.01	10.7	0.71
76	0.76	0.076	7	86.05	8.78	0.01	10.7	0.82
83	0.83	0.083	7	86.05	8.78	0.01	10.7	0.82
90	0.9	0.09	8	97.66	9.97	0.01	10.7	0.93
97	0.97	0.097	8	97.66	9.97	0.01	10.7	0.93
104	1.04	0.104	8	97.66	9.97	0.01	10.7	0.93
111	1.11	0.111	9	109.19	11.14	0.02	10.7	1.04
118	1.18	0.118	9	109.19	11.14	0.02	10.7	1.04
126	1.26	0.126	10	120.65	12.31	0.02	10.8	1.15
134	1.34	0.134	10	120.65	12.31	0.02	10.8	1.14
142	1.42	0.142	10	120.65	12.31	0.02	10.8	1.14
149	1.49	0.149	11	132.02	13.47	0.02	10.8	1.25
156	1.56	0.156	11	132.02	13.47	0.02	10.8	1.25
163	1.63	0.163	11	132.02	13.47	0.02	10.8	1.25
170	1.7	0.17	11	132.02	13.47	0.02	10.8	1.25
178	1.78	0.178	10	120.65	12.31	0.03	10.8	1.14

Calle Padre Salazar-Simpson, Finca El Espíritu Santo, Soyapango, San Salvador, El Salvador, C.A.
 Teléfono: (503) 2516-6800 y Fax: (503) 2516-6801
 www.ctapadrearupe.com
 fgallagos@activaelsalvador.com.sv



ANEXO 36. Reporte 5 para Compresión Triaxial sondeo 3 Fundación P. Arrupe.



ARRUPE
LABORATORIOS

PETICIONARIO: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

PROYECTO: IDENTIFICACION Y MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCON DE RIESGOS, CANTON GUALINDO ARRIBA, MUN. DE LOLOTIQUILLO, DEP. DEMORAZAN.

MUESTRA: ARCILLA LIMOSA DE MEDIANA PLASTICIDAD CON UN 10 - 20 % DE ARENA NEGRO CLARO (CL)

IDENTIFICACIÓN: SONDEO #3

ANEXO 37. Reporte 1 para Compresión Triaxial sondeo 4 Fundación P. Arrupe.



ENSAYO:		ASTM D 2850						
PETICIONARIO:		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR						
PROYECTO:		IDENTIFICACION Y EVALUACION DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTON GUALINDO ARRIBA, MUN. DE LOLOTIQUILLO, DEP. DE MORAZAN.						
UBICACIÓN		SONDEO # 4						
PROFUNDIDAD:		-						
Diámetro 1 (mm)	36	Altura 1 (mm)	74	Promedio diámetro (mm)	37	Área inicial (cm)	10.6	
Diámetro 2 (mm)	37	Altura 2 (mm)	74					
Diámetro 3 (mm)	37	Altura 3 (mm)	74	Promedio altura (mm)	74	Altura inicial (cm)	7.4	
Constante deformación (mm)	0.01	Peso (g)	127.4	Volumen (cm ³)	78.1	Peso Vol. Hum.(g/cm ³)	1.63	
Humedad (%)	40.52	Peso Vol. Seco (g/cm ³)	1.16	GE	2.755	Saturación (%)	81.22	
PRESIÓN 1.0 kg/cm2								
Deformación (div)	Deformación (mm)	Deformación (cm)	Fuerza (div)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	ε	A (cm2)	Esfuerzo desviador (kg/cm2)
7	0.07	0.007	1	14.75	1.51	0.00	10.6	0.14
15	0.15	0.015	2	26.83	2.74	0.00	10.6	0.26
23	0.23	0.023	3	38.83	3.96	0.00	10.6	0.37
30	0.3	0.030	4	50.75	5.18	0.00	10.6	0.49
37	0.37	0.037	5	62.60	6.39	0.01	10.6	0.60
44	0.44	0.044	6	74.36	7.59	0.01	10.6	0.71
52	0.52	0.052	7	86.05	8.78	0.01	10.6	0.83
60	0.6	0.060	8	97.66	9.97	0.01	10.6	0.94
68	0.68	0.068	9	109.19	11.14	0.01	10.7	1.05
75	0.75	0.075	10	120.65	12.31	0.01	10.7	1.15
83	0.83	0.083	10	120.65	12.31	0.01	10.7	1.15
90	0.9	0.09	11	132.02	13.47	0.01	10.69	1.26
98	0.98	0.098	11	132.02	13.47	0.01	10.70	1.26
106	1.06	0.106	12	143.32	14.62	0.01	10.71	1.37
113	1.13	0.113	12	143.32	14.62	0.02	10.72	1.36
120	1.2	0.12	12	143.32	14.62	0.02	10.73	1.36
127	1.27	0.127	12	143.32	14.62	0.02	10.74	1.36
134	1.34	0.134	12	143.32	14.62	0.02	10.75	1.36

Calle Padre Salazar-Simpson, Finca El Espíritu Santo, Soyapango, San Salvador, El Salvador, C.A.
 Teléfono: (503) 2516-6800 y Fax: (503) 2516-6801
 www.ctapadrearupe.com
 fgallegos@activael salvador.com.sv



IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN

ANEXO 38. Reporte 2 para Compresión Triaxial sondeo 4 Fundación P. Arrupe.



ENSAYO:			ASTM D 2850					
PETICIONARIO:			UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR					
PROYECTO:			IDENTIFICACION Y EVALUACION DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTON GUALINDO ARRIBA, MUN. DE LOLOTIQUILLO, DEP. DE MORAZAN.					
UBICACIÓN			SONDEO # 4					
PROFUNDIDAD:			-					
Diámetro 1 (mm)	36	Altura 1 (mm)	71	Promedio diámetro (mm)	36	Área inicial (cm)	10.2	
Diámetro 2 (mm)	36	Altura 2 (mm)	71					
Diámetro 3 (mm)	36	Altura 3 (mm)	71	Promedio altura (mm)	71	Altura inicial (cm)	7.1	
Constante deformación (mm)	0.01	Peso (g)	116	Volumen (cm ³)	72.3	Peso Vol. Hum. (g/cm ³)	1.61	
Humedad (%)	41.66	Peso Vol. Seco (g/cm ³)	1.13	GE	2.755	Saturación (%)	80.18	
PRESIÓN 1.5 kg/cm2								
Deformación (div)	Deformación (mm)	Deformación (cm)	Fuerza (div)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	ε	A (cm2)	Esfuerzo desviador (kg/cm2)
6	0.06	0.006	2	26.83	2.74	0.00	10.2	0.27
14	0.14	0.014	2	26.83	2.74	0.00	10.2	0.27
21	0.21	0.021	2	26.83	2.74	0.00	10.2	0.27
28	0.28	0.028	3	38.83	3.96	0.00	10.2	0.39
36	0.36	0.036	3	38.83	3.96	0.01	10.2	0.39
43	0.43	0.043	3	38.83	3.96	0.01	10.2	0.39
51	0.51	0.051	3	38.83	3.96	0.01	10.3	0.39
59	0.59	0.059	4	50.75	5.18	0.01	10.3	0.50
66	0.66	0.066	5	62.60	6.39	0.01	10.3	0.62
73	0.73	0.073	6	74.36	7.59	0.01	10.3	0.74
81	0.81	0.081	7	86.05	8.78	0.01	10.3	0.85
88	0.88	0.088	8	97.66	9.97	0.01	10.3	0.97
96	0.96	0.096	9	109.19	11.14	0.01	10.3	1.08
103	1.03	0.103	10	120.65	12.31	0.01	10.3	1.19
110	1.1	0.11	10	120.65	12.31	0.02	10.3	1.19
118	1.18	0.118	11	132.02	13.47	0.02	10.4	1.30
126	1.26	0.126	11	132.02	13.47	0.02	10.4	1.30
133	1.33	0.133	12	143.32	14.62	0.02	10.4	1.41
140	1.4	0.14	13	154.54	15.77	0.02	10.4	1.52
148	1.48	0.148	14	165.68	16.91	0.02	10.4	1.63
155	1.55	0.155	14	165.68	16.91	0.02	10.4	1.62
163	1.63	0.163	14	165.68	16.91	0.02	10.4	1.62
170	1.7	0.17	14	165.68	16.91	0.02	10.4	1.62
178	1.78	0.178	14	165.68	16.91	0.03	10.4	1.62

Calle Padre Salazar-Simpson, Finca El Espíritu Santo, Soyapango, San Salvador, El Salvador, C.A.
 Teléfono: (503) 2516-6800 y Fax: (503) 2516-6801
 www.ctapadrearupe.com
 fgallagos@activaelsalvador.com.sv



IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN

ANEXO 39. Reporte 3 para Compresión Triaxial sondeo 4 Fundación P. Arrupe.

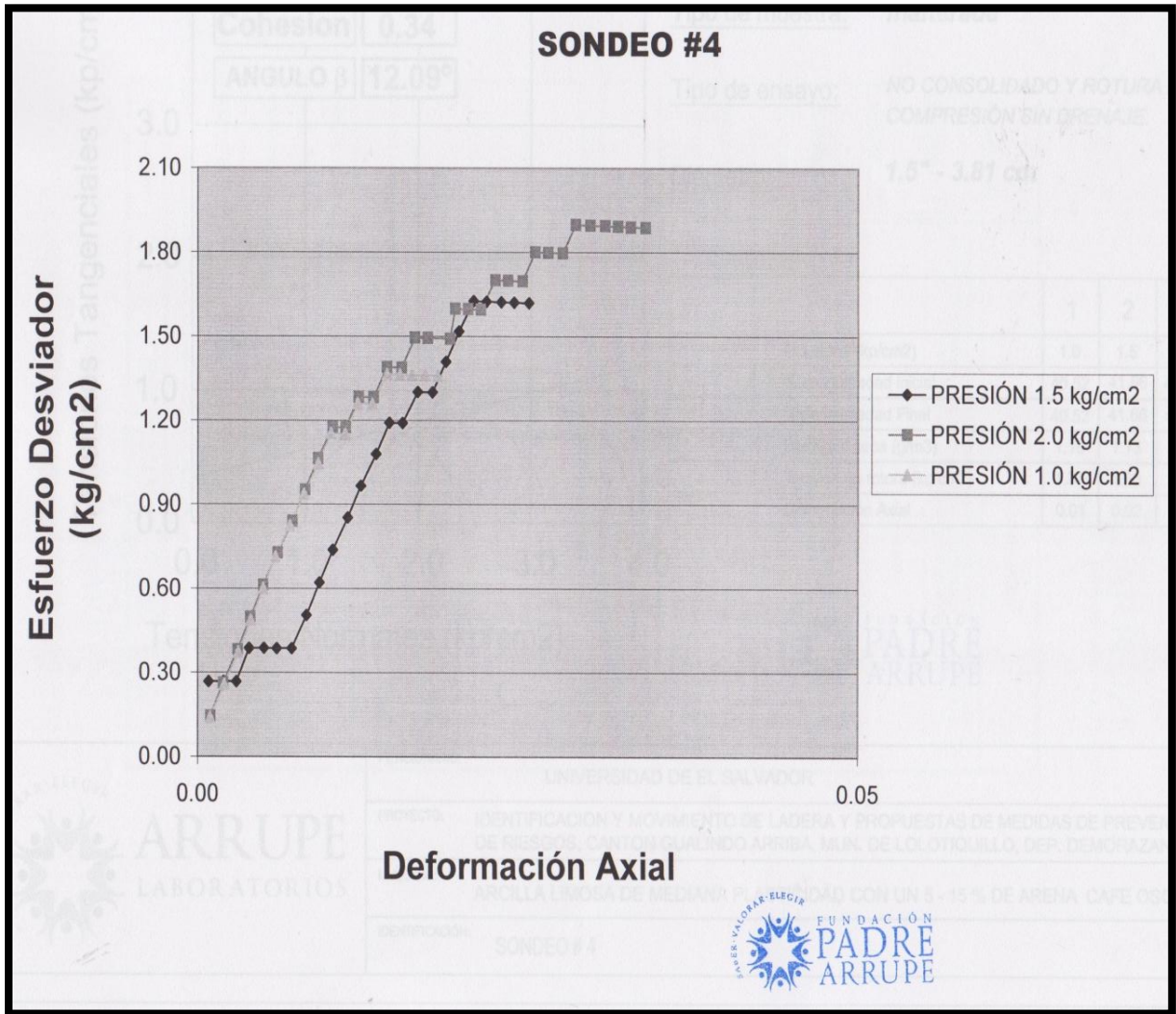


ENSAYO:		ASTM D 2850						
PETICIONARIO:		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR						
PROYECTO:		IDENTIFICACION Y EVALUACION DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTON GUALINDO ARRIBA, MUN. DE LOLOTIQUILLO, DEP. DE MORAZAN.						
UBICACIÓN		SONDEO # 4						
PROFUNDIDAD:		-						
Diámetro 1 (mm)	36	Altura 1 (mm)	72	Promedio diámetro (mm)	36	Área inicial (cm)	10.4	
Diámetro 2 (mm)	37	Altura 2 (mm)	72					
Diámetro 3 (mm)	36	Altura 3 (mm)	72	Promedio altura (mm)	72	Altura inicial (cm)	7.2	
Constante deformación (mm)	0.01	Peso (g)	116.4	Volumen (cm ³)	74.7	Peso Vol. Hum. (g/cm ³)	1.56	
Humedad (%)	41.36	Peso Vol. Seco (g/cm ³)	1.10	GE	2.755	Saturación (%)	76.08	
PRESIÓN 2.0 kg/cm2								
Deformación (div)	Deformación (mm)	Deformación (cm)	Fuerza (div)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	ε	A (cm2)	Esfuerzo desviador (kg/cm2)
7	0.07	0.007	1	14.75	1.51	0.00	10.4	0.15
14	0.14	0.014	2	26.83	2.74	0.00	10.4	0.26
22	0.22	0.022	3	38.83	3.96	0.00	10.4	0.38
29	0.29	0.029	4	50.75	5.18	0.00	10.4	0.50
36	0.36	0.036	5	62.60	6.39	0.01	10.4	0.61
44	0.44	0.044	6	74.36	7.59	0.01	10.4	0.73
52	0.52	0.052	7	86.05	8.78	0.01	10.4	0.84
59	0.59	0.059	8	97.66	9.97	0.01	10.5	0.95
66	0.66	0.066	9	109.19	11.14	0.01	10.5	1.06
74	0.74	0.074	10	120.65	12.31	0.01	10.5	1.18
81	0.81	0.081	10	120.65	12.31	0.01	10.5	1.17
88	0.88	0.088	11	132.02	13.47	0.01	10.5	1.28
96	0.96	0.096	11	132.02	13.47	0.01	10.5	1.28
103	1.03	0.103	12	143.32	14.62	0.01	10.5	1.39
111	1.11	0.111	12	143.32	14.62	0.02	10.5	1.39
118	1.18	0.118	13	154.54	15.77	0.02	10.5	1.50
125	1.25	0.125	13	154.54	15.77	0.02	10.6	1.49
137	1.37	0.137	13	154.54	15.77	0.02	10.6	1.49
140	1.4	0.14	14	165.68	16.91	0.02	10.6	1.60
147	1.47	0.147	14	165.68	16.91	0.02	10.6	1.60
154	1.54	0.154	14	165.68	16.91	0.02	10.6	1.60
162	1.62	0.162	15	176.74	18.03	0.02	10.6	1.70
169	1.69	0.169	15	176.74	18.03	0.02	10.6	1.70
177	1.77	0.177	15	176.74	18.03	0.02	10.6	1.70
184	1.84	0.184	16	187.73	19.16	0.03	10.6	1.80
191	1.91	0.191	16	187.73	19.16	0.03	10.7	1.80
199	1.99	0.199	16	187.73	19.16	0.03	10.7	1.80
206	2.06	0.206	17	198.63	20.27	0.03	10.7	1.90
214	2.14	0.214	17	198.63	20.27	0.03	10.7	1.90
222	2.22	0.222	17	198.63	20.27	0.03	10.7	1.89
229	2.29	0.229	17	198.63	20.27	0.03	10.7	1.89
236	2.36	0.236	17	198.63	20.27	0.03	10.7	1.89
244	2.44	0.244	17	198.63	20.27	0.03	10.7	1.89

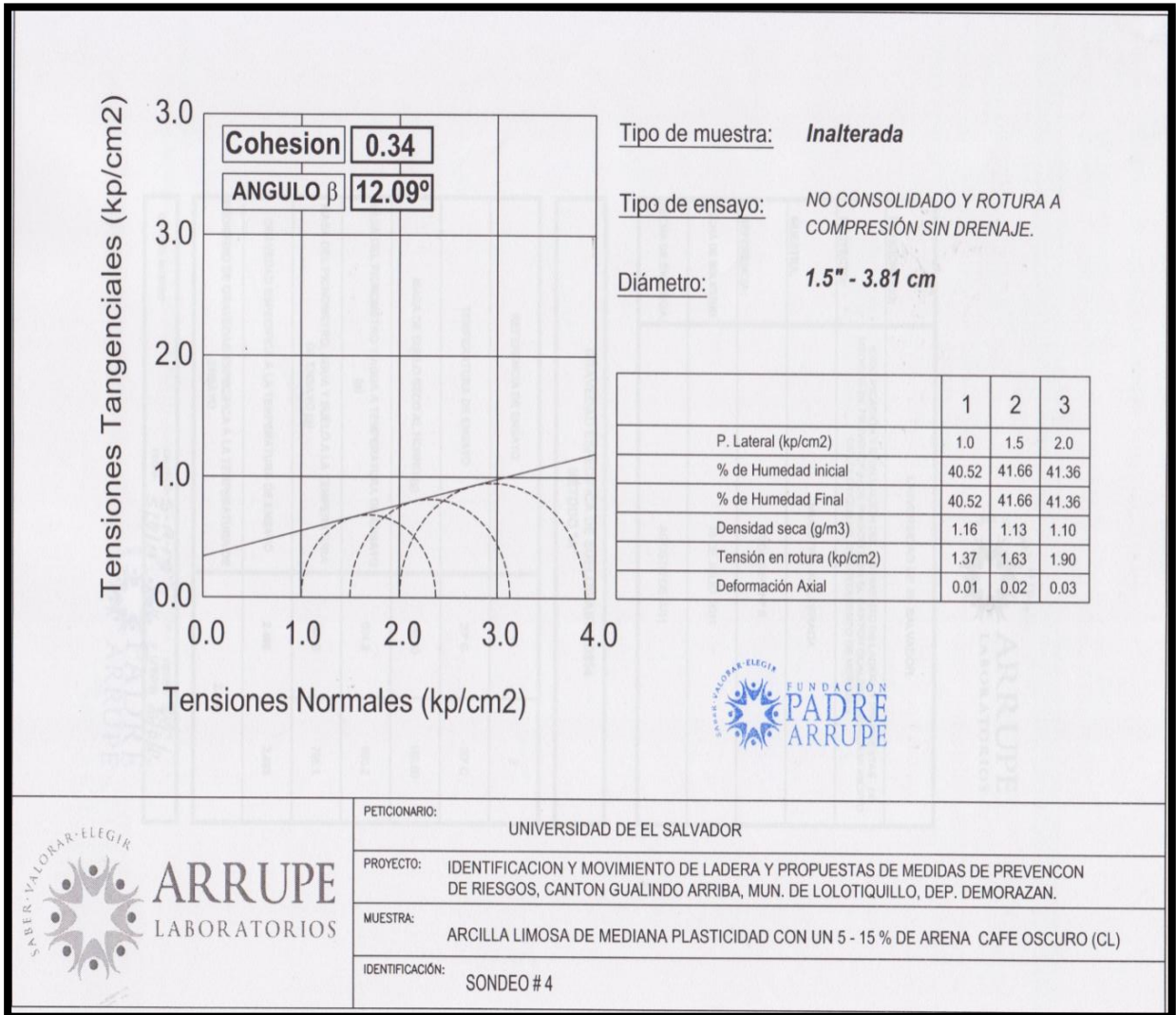
Calle Padre Salazar-Simpson, Finca El Espíritu Santo, Soyapango, San Salvador, El Salvador, C.A.
 Teléfono: (503) 2516-6800 y Fax: (503) 2516-6801
 www.ctapadrearupe.com
 fgallagos@activaelsalvador.com.sv



ANEXO 40. Reporte 4 para Compresión Triaxial sondeo 4 Fundación P. Arrupe.



ANEXO 41. Reporte 5 para Compresión Triaxial sondeo 4 Fundación P. Arrupe.



ANEXO 42. Reporte 1 para Compresión Triaxial sondeo 5 Fundación P. Arrupe.



ENSAYO:		ASTM D 2850						
PETICIONARIO:		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR						
PROYECTO:		IDENTIFICACION Y EVALUACION DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTON GUALINDO ARRIBA, MUN. DE LOLOTIQUILLO, DEP. DE MORAZAN.						
UBICACIÓN		SONDEO # 5						
PROFUNDIDAD:		-						
Diámetro 1 (mm)	35	Altura 1 (mm)	70	Promedio diámetro (mm)	35	Área inicial (cm)	9.6	
Diámetro 2 (mm)	35	Altura 2 (mm)	70					
Diámetro 3 (mm)	35	Altura 3 (mm)	70	Promedio altura (mm)	70	Altura inicial (cm)	7.0	
Constante deformación (mm)	0.01	Peso (g)	118.4	Volumen (cm ³)	67.3	Peso Vol. Hum.(g/cm ³)	1.76	
Humedad (%)	33.93	Peso Vol. Seco (g/cm ³)	1.31	GE	2.466	Saturación (%)	95.23	
PRESIÓN 1.0 kg/cm2								
Deformación (div)	Deformación (mm)	Deformación (cm)	Fuerza (div)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	ε	A (cm2)	Esfuerzo desviador (kg/cm2)
7	0.07	0.007	1	14.75	1.51	0.00	9.6	0.16
15	0.15	0.015	2	26.83	2.74	0.00	9.6	0.28
23	0.23	0.023	3	38.83	3.96	0.00	9.7	0.41
30	0.3	0.030	3	38.83	3.96	0.00	9.7	0.41
38	0.38	0.038	3	38.83	3.96	0.01	9.7	0.41
45	0.45	0.045	4	50.75	5.18	0.01	9.7	0.53
53	0.53	0.053	4	50.75	5.18	0.01	9.7	0.53
60	0.6	0.060	5	62.60	6.39	0.01	9.7	0.66
67	0.67	0.067	5	62.60	6.39	0.01	9.7	0.66
74	0.74	0.074	5	62.60	6.39	0.01	9.7	0.66
82	0.82	0.082	6	74.36	7.59	0.01	9.7	0.78
89	0.89	0.089	6	74.36	7.59	0.01	9.75	0.78
96	0.96	0.096	6	74.36	7.59	0.01	9.75	0.78
101	1.01	0.101	6	74.36	7.59	0.01	9.76	0.78
109	1.09	0.109	6	74.36	7.59	0.02	9.77	0.78
107	1.07	0.107	6	74.36	7.59	0.02	9.77	0.78



ANEXO 43. Reporte 2 para Compresión Triaxial sondeo 5 Fundación P. Arrupe.



ENSAYO:		ASTM D 2850						
PETICIONARIO:		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR						
PROYECTO:		IDENTIFICACION Y EVALUACION DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTON GUALINDO ARRIBA, MUN. DE LOLOTIQUILLO, DEP. DE MORAZAN.						
UBICACIÓN		SONDEO # 5						
PROFUNDIDAD:		-						
Diámetro 1 (mm)	36	Altura 1 (mm)	71	Promedio diámetro (mm)	35	Área inicial (cm ²)	9.8	
Diámetro 2 (mm)	35	Altura 2 (mm)	70					
Diámetro 3 (mm)	35	Altura 3 (mm)	70	Promedio altura (mm)	70	Altura inicial (cm)	7.0	
Constante deformación (mm)	0.01	Peso (g)	119.2	Volumen (cm ³)	69.0	Peso Vol. Hum.(g/cm ³)	1.73	
Humedad (%)	33.03	Peso Vol. Seco (g/cm ³)	1.30	GE	2.466	Saturación (%)	90.71	
PRESIÓN 1.5 kg/cm2								
Deformación (div)	Deformación (mm)	Deformación (cm)	Fuerza (div)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	ε	A (cm ²)	Esfuerzo desviador (kg/cm ²)
8	0.08	0.008	0	2.59	0.26	0.00	9.8	0.03
16	0.16	0.016	1	14.75	1.51	0.00	9.8	0.15
24	0.24	0.024	2	26.83	2.74	0.00	9.8	0.28
31	0.31	0.031	3	38.83	3.96	0.00	9.8	0.40
38	0.38	0.038	4	50.75	5.18	0.01	9.9	0.53
45	0.45	0.045	4	50.75	5.18	0.01	9.9	0.52
52	0.52	0.052	5	62.60	6.39	0.01	9.9	0.65
60	0.6	0.060	5	62.60	6.39	0.01	9.9	0.65
67	0.67	0.067	6	74.36	7.59	0.01	9.9	0.77
75	0.75	0.075	6	74.36	7.59	0.01	9.9	0.77
82	0.82	0.082	6	74.36	7.59	0.01	9.9	0.76
89	0.89	0.089	7	86.05	8.78	0.01	9.9	0.88
97	0.97	0.097	7	86.05	8.78	0.01	9.9	0.88
104	1.04	0.104	7	86.05	8.78	0.01	10.0	0.88
111	1.11	0.111	8	97.66	9.97	0.02	10.0	1.00
119	1.19	0.119	8	97.66	9.97	0.02	10.0	1.00
127	1.27	0.127	8	97.66	9.97	0.02	10.0	1.00
134	1.34	0.134	8	97.66	9.97	0.02	10.0	1.00
141	1.41	0.141	8	97.66	9.97	0.02	10.0	1.00



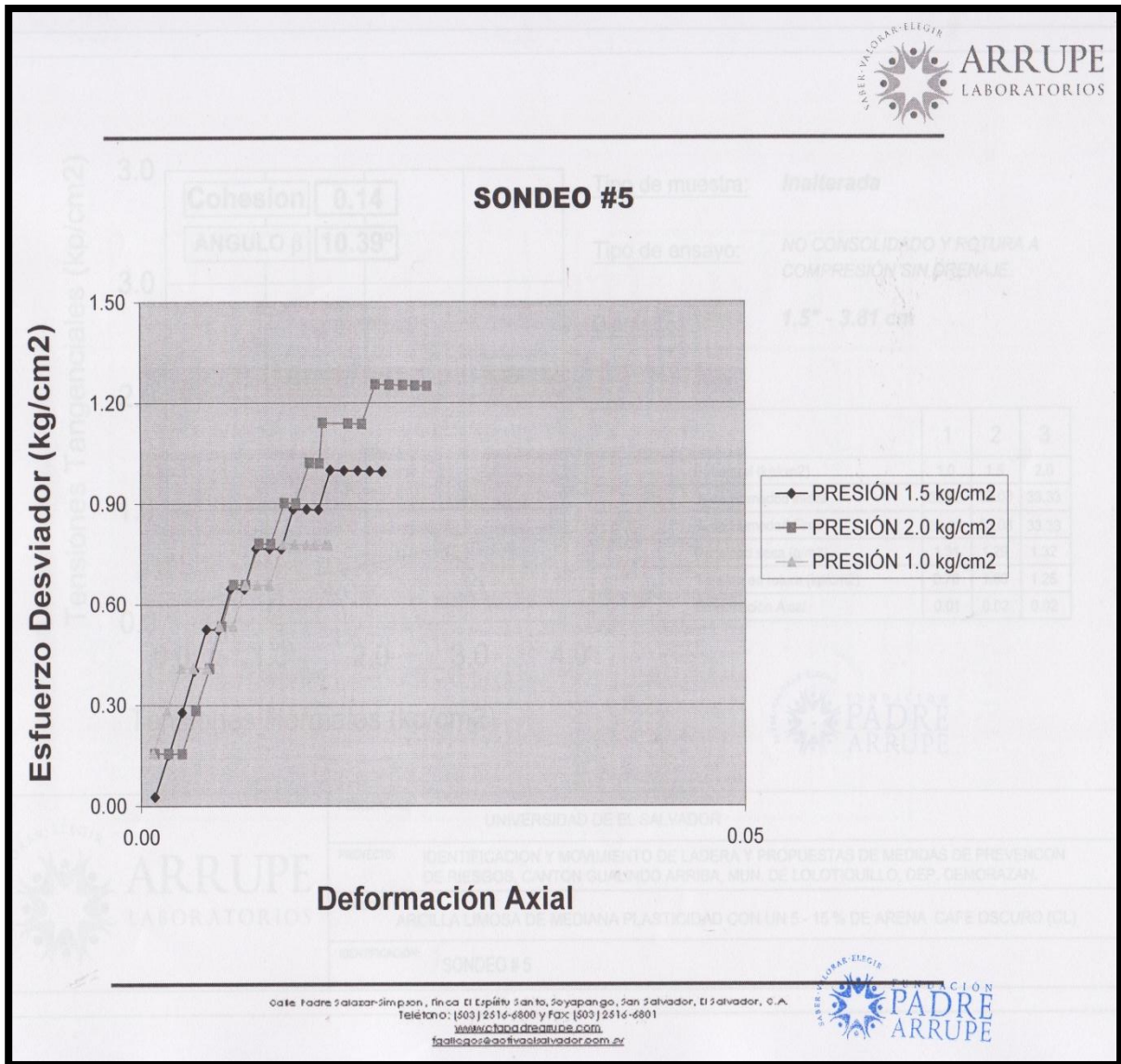
ANEXO 44. Reporte 3 para Compresión Triaxial sondeo 5 Fundación P. Arrupe.



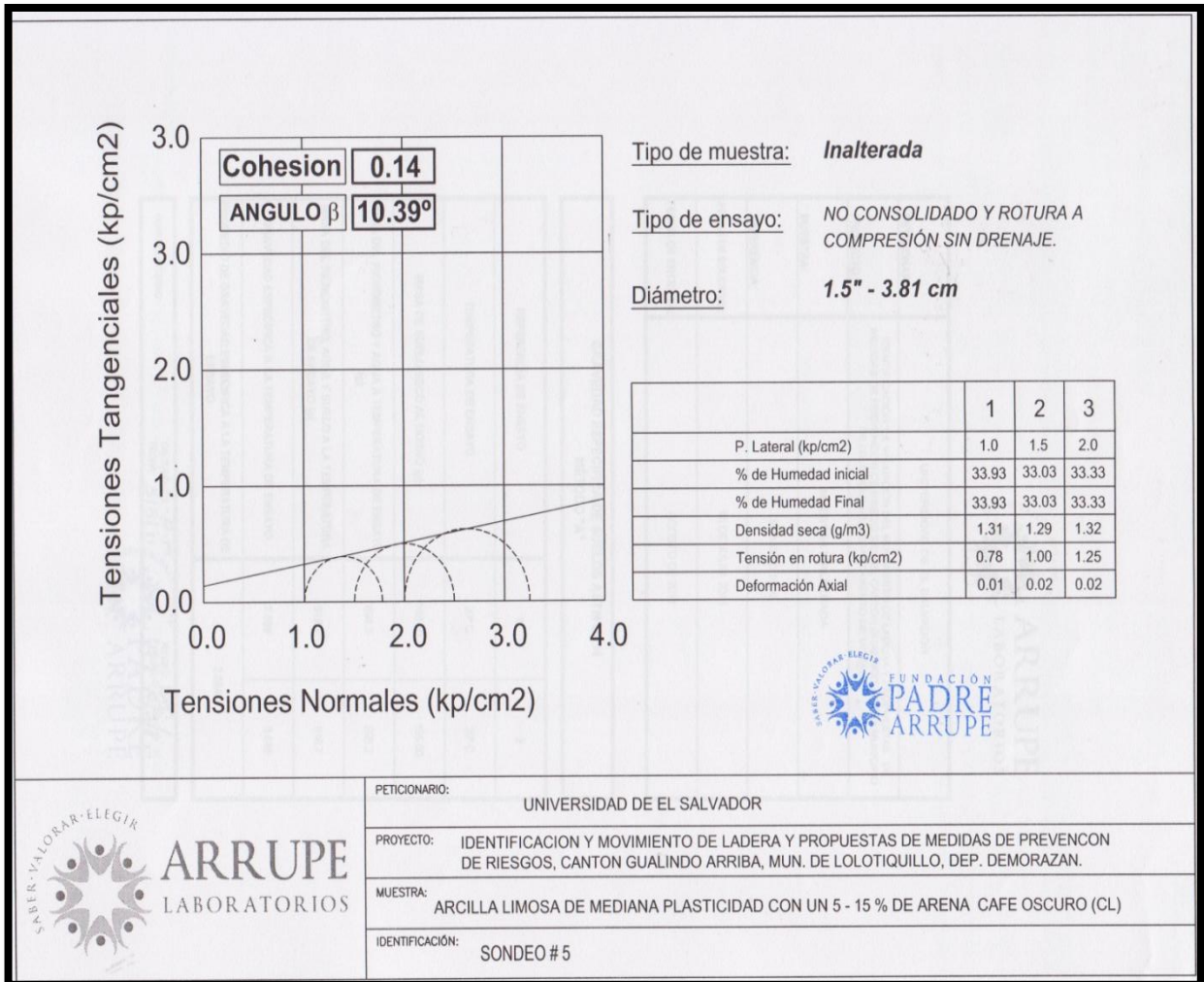
ENSAYO:		ASTM D 2850						
PETICIONARIO:		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR						
PROYECTO:		IDENTIFICACION Y EVALUACION DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTON GUALINDO ARRIBA, MUN. DE LOLOTIQUILLO, DEP. DE MORAZAN.						
UBICACIÓN		SONDEO # 5						
PROFUNDIDAD:		-						
Diámetro 1 (mm)	35	Altura 1 (mm)	71	Promedio diámetro (mm)	35	Área inicial (cm ²)	9.6	
Diámetro 2 (mm)	35	Altura 2 (mm)	71					
Diámetro 3 (mm)	35	Altura 3 (mm)	71	Promedio altura (mm)	71	Altura inicial (cm)	7.1	
Constante deformación (mm)	0.01	Peso (g)	118.4	Volumen (cm ³)	68.3	Peso Vol. Hum. (g/cm ³)	1.73	
Humedad (%)	33.94	Peso Vol. Seco (g/cm ³)	1.29	GE	2.466	Saturación (%)	92.42	
PRESIÓN 2.0 kg/cm²								
Deformación (div)	Deformación (mm)	Deformación (cm)	Fuerza (div)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	ε	A (cm ²)	Esfuerzo desviador (kg/cm ²)
8	0.08	0.008	1	14.75	1.51	0.00	9.6	0.16
16	0.16	0.016	1	14.75	1.51	0.00	9.6	0.16
24	0.24	0.024	1	14.75	1.51	0.00	9.7	0.16
32	0.32	0.032	2	26.83	2.74	0.00	9.7	0.28
40	0.4	0.040	3	38.83	3.96	0.01	9.7	0.41
47	0.47	0.047	4	50.75	5.18	0.01	9.7	0.53
54	0.54	0.054	5	62.60	6.39	0.01	9.7	0.66
61	0.61	0.061	5	62.60	6.39	0.01	9.7	0.66
69	0.69	0.069	6	74.36	7.59	0.01	9.7	0.78
76	0.76	0.076	6	74.36	7.59	0.01	9.7	0.78
84	0.84	0.084	7	86.05	8.78	0.01	9.7	0.90
91	0.91	0.091	7	86.05	8.78	0.01	9.7	0.90
99	0.99	0.099	8	97.66	9.97	0.01	9.8	1.02
105	1.05	0.105	8	97.66	9.97	0.01	9.8	1.02
107	1.07	0.107	9	109.19	11.14	0.02	9.8	1.14
122	1.22	0.122	9	109.19	11.14	0.02	9.8	1.14
130	1.3	0.13	9	109.19	11.14	0.02	9.8	1.14
138	1.38	0.138	10	120.65	12.31	0.02	9.8	1.25
146	1.46	0.146	10	120.65	12.31	0.02	9.8	1.25
154	1.54	0.154	10	120.65	12.31	0.02	9.8	1.25
161	1.61	0.161	10	120.65	12.31	0.02	9.8	1.25
168	1.68	0.168	10	120.65	12.31	0.02	9.9	1.25



ANEXO 45. Reporte 4 para Compresión Triaxial sondeo 5 Fundación P. Arrupe.



ANEXO 46. Reporte 5 para Compresión Triaxial sondeo 5 Fundación P. Arrupe.



ANEXO 47. Reporte 1 para Compresión Triaxial sondeo 6 Fundación P. Arrupe.



ENSAYO:		ASTM D 2850						
PETICIONARIO:		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR						
PROYECTO:		IDENTIFICACION Y EVALUACION DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTON GUALINDO ARRIBA, MUN. DE LOLOTIQUILLO, DEP. DE MORAZAN.						
UBICACIÓN		SONDEO # 6						
PROFUNDIDAD:		-						
Diámetro 1 (mm)	36	Altura 1 (mm)	70	Promedio diámetro (mm)	36	Área inicial (cm)	10.2	
Diámetro 2 (mm)	36	Altura 2 (mm)	70					
Diámetro 3 (mm)	36	Altura 3 (mm)	70	Promedio altura (mm)	70	Altura inicial (cm)	7.0	
Constante deformación (mm)	0.01	Peso (g)	117	Volumen (cm ³)	71.3	Peso Vol. Hum. (g/cm ³)	1.64	
Humedad (%)	38.62	Peso Vol. Seco (g/cm ³)	1.18	GE	2.654	Saturación (%)	82.63	
PRESIÓN 1.0 kg/cm2								
Deformación (div)	Deformación (mm)	Deformación (cm)	Fuerza (div)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	ε	A (cm2)	Esfuerzo desviador (kg/cm2)
8	0.08	0.008	0	2.59	0.26	0.00	10.2	0.03
16	0.16	0.016	0	2.59	0.26	0.00	10.2	0.03
23	0.23	0.023	1	14.75	1.51	0.00	10.2	0.15
31	0.31	0.031	1	14.75	1.51	0.00	10.2	0.15
39	0.39	0.039	2	26.83	2.74	0.01	10.2	0.27
46	0.46	0.046	2	26.83	2.74	0.01	10.2	0.27
53	0.53	0.053	2	26.83	2.74	0.01	10.3	0.27
61	0.61	0.061	3	38.83	3.96	0.01	10.3	0.39
69	0.69	0.069	3	38.83	3.96	0.01	10.3	0.39
75	0.75	0.075	3	38.83	3.96	0.01	10.3	0.39
83	0.83	0.083	3	38.83	3.96	0.01	10.3	0.38
90	0.9	0.09	3	38.83	3.96	0.01	10.31	0.38
98	0.98	0.098	4	50.75	5.18	0.01	10.32	0.50
105	1.05	0.105	4	50.75	5.18	0.02	10.33	0.50
112	1.12	0.112	4	50.75	5.18	0.02	10.34	0.50
120	1.2	0.12	4	50.75	5.18	0.02	10.36	0.50
127	1.27	0.127	4	50.75	5.18	0.02	10.37	0.50



IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN

ANEXO 48. Reporte 2 para Compresión Triaxial sondeo 6 Fundación P. Arrupe.



ENSAYO:		ASTM D 2850						
PETICIONARIO:		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR						
PROYECTO:		IDENTIFICACION Y EVALUACION DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTON GUALINDO ARRIBA, MUN. DE LOLOTIQUILLO, DEP. DE MORAZAN.						
UBICACIÓN		SONDEO # 6						
PROFUNDIDAD:		-						
Diámetro 1 (mm)	35	Altura 1 (mm)	71	Promedio diámetro (mm)	35	Área inicial (cm)	9.6	
Diámetro 2 (mm)	35	Altura 2 (mm)	71					
Diámetro 3 (mm)	35	Altura 3 (mm)	71	Promedio altura (mm)	71	Altura inicial (cm)	7.1	
Constante deformación (mm)	0.01	Peso (g)	120.2	Volumen (cm ³)	68.3	Peso Vol. Hum. (g/cm ³)	1.76	
Humedad (%)	38.53	Peso Vol. Seco (g/cm ³)	1.27	GE	2.654	Saturación (%)	93.87	
PRESIÓN 1.5 kg/cm2								
Deformación (div)	Deformación (mm)	Deformación (cm)	Fuerza (div)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	ε	A (cm2)	Esfuerzo desviador (kg/cm2)
7	0.07	0.007	0	2.59	0.26	0.00	9.6	0.03
14	0.14	0.014	1	14.75	1.51	0.00	9.6	0.16
22	0.22	0.022	1	14.75	1.51	0.00	9.7	0.16
29	0.29	0.029	1	14.75	1.51	0.00	9.7	0.16
36	0.36	0.036	2	26.83	2.74	0.01	9.7	0.28
44	0.44	0.044	2	26.83	2.74	0.01	9.7	0.28
52	0.52	0.052	3	38.83	3.96	0.01	9.7	0.41
59	0.59	0.059	3	38.83	3.96	0.01	9.7	0.41
66	0.66	0.066	4	50.75	5.18	0.01	9.7	0.53
73	0.73	0.073	4	50.75	5.18	0.01	9.7	0.53
80	0.8	0.080	5	62.60	6.39	0.01	9.7	0.66
88	0.88	0.088	5	62.60	6.39	0.01	9.7	0.66
96	0.96	0.096	5	62.60	6.39	0.01	9.8	0.65
103	1.03	0.103	5	62.60	6.39	0.01	9.8	0.65
110	1.1	0.11	5	62.60	6.39	0.02	9.8	0.65
118	1.18	0.118	5	62.60	6.39	0.02	9.8	0.65

Calle Padre Salazar-Simpson, Finca El Espíritu Santo, Soyapango, San Salvador, El Salvador, C.A.
 Teléfono: (503) 2514-6800 y Fax: (503) 2514-6801
 www.ctapadreaarupe.com
 fgalegos@activaelsalvador.com.sv



IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN

ANEXO 49. Reporte 3 para Compresión Triaxial sondeo 6 Fundación P. Arrupe.



ENSAYO:		ASTM D 2850					
PETICIONARIO:		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR					
PROYECTO:		IDENTIFICACION Y EVALUACION DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTON GUALINDO ARRIBA, MUN. DE LOLOTIQUILLO, DEP. DE MORAZAN.					
UBICACIÓN		SONDEO # 6					
PROFUNDIDAD:		-					
Diámetro 1 (mm)	36	Altura 1 (mm)	74	Promedio diámetro (mm)	36	Área inicial (cm)	10.0
Diámetro 2 (mm)	36	Altura 2 (mm)	74				
Diámetro 3 (mm)	35	Altura 3 (mm)	74	Promedio altura (mm)	74	Altura inicial (cm)	7.4
Constante deformación (mm)	0.01	Peso (g)	123	Volumen (cm ³)	73.9	Peso Vol. Hum.(g/cm ³)	1.66
Humedad (%)	38.73	Peso Vol. Seco (g/cm ³)	1.20	GE	2.654	Saturación (%)	84.73

PRESIÓN 2.0 kg/cm2

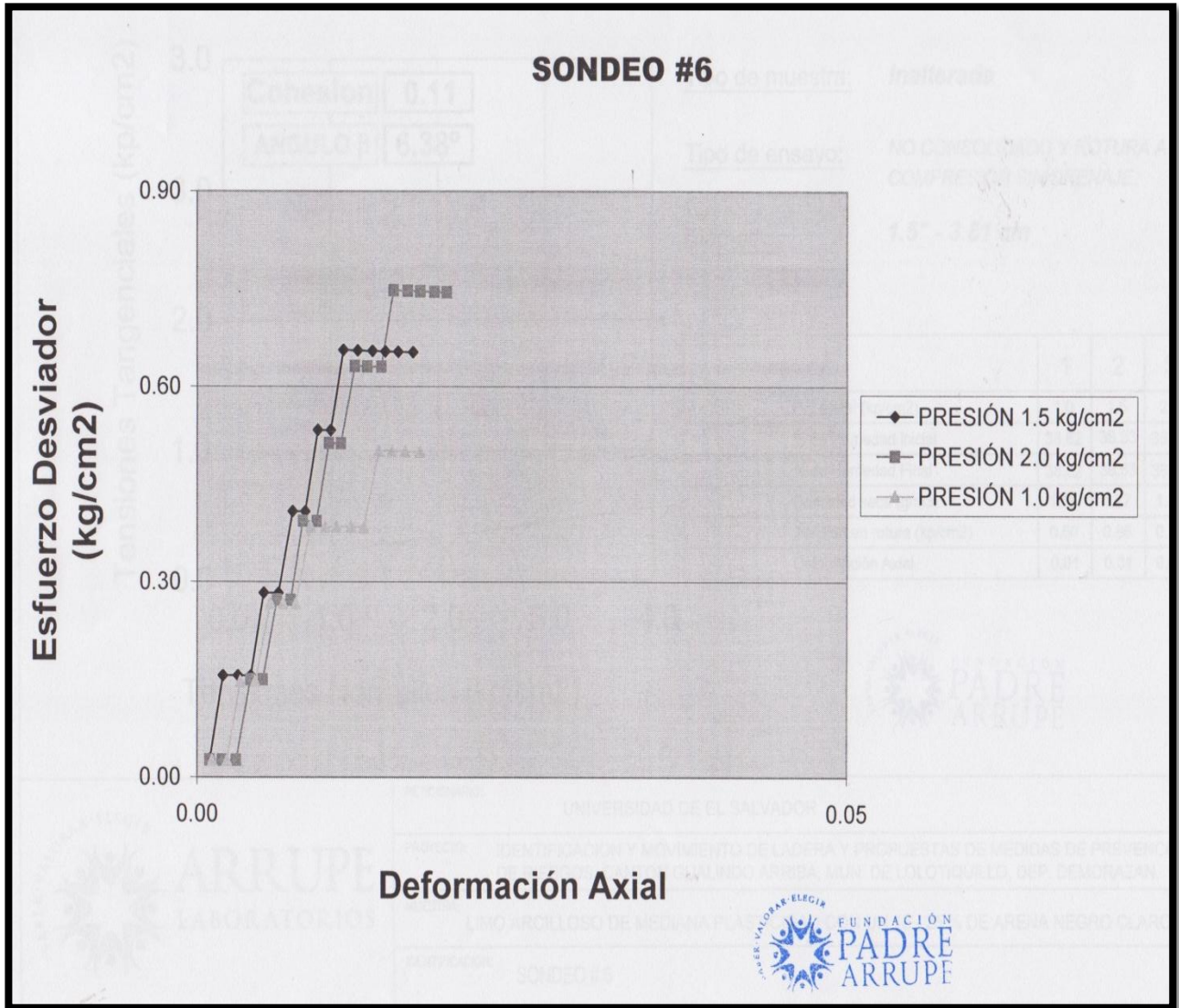
Deformación (div)	Deformación (mm)	Deformación (cm)	Fuerza (div)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	ε	A (cm2)	Esfuerzo desviador (kg/cm2)
7	0.07	0.007	0	2.59	0.26	0.00	10.0	0.03
14	0.14	0.014	0	2.59	0.26	0.00	10.0	0.03
22	0.22	0.022	0	2.59	0.26	0.00	10.0	0.03
30	0.3	0.030	1	14.75	1.51	0.00	10.0	0.15
37	0.37	0.037	1	14.75	1.51	0.01	10.0	0.15
45	0.45	0.045	2	26.83	2.74	0.01	10.1	0.27
53	0.53	0.053	2	26.83	2.74	0.01	10.1	0.27
60	0.6	0.060	3	38.83	3.96	0.01	10.1	0.39
68	0.68	0.068	3	38.83	3.96	0.01	10.1	0.39
75	0.75	0.075	4	50.75	5.18	0.01	10.1	0.51
82	0.82	0.082	4	50.75	5.18	0.01	10.1	0.51
90	0.9	0.09	5	62.60	6.39	0.01	10.1	0.63
97	0.97	0.097	5	62.60	6.39	0.01	10.1	0.63
105	1.05	0.105	5	62.60	6.39	0.01	10.1	0.63
112	1.12	0.112	6	74.36	7.59	0.02	10.1	0.75
120	1.2	0.12	6	74.36	7.59	0.02	10.2	0.75
127	1.27	0.127	6	74.36	7.59	0.02	10.2	0.75
135	1.35	0.135	6	74.36	7.59	0.02	10.2	0.75
142	1.42	0.142	6	74.36	7.59	0.02	10.2	0.74

Deformación Axial

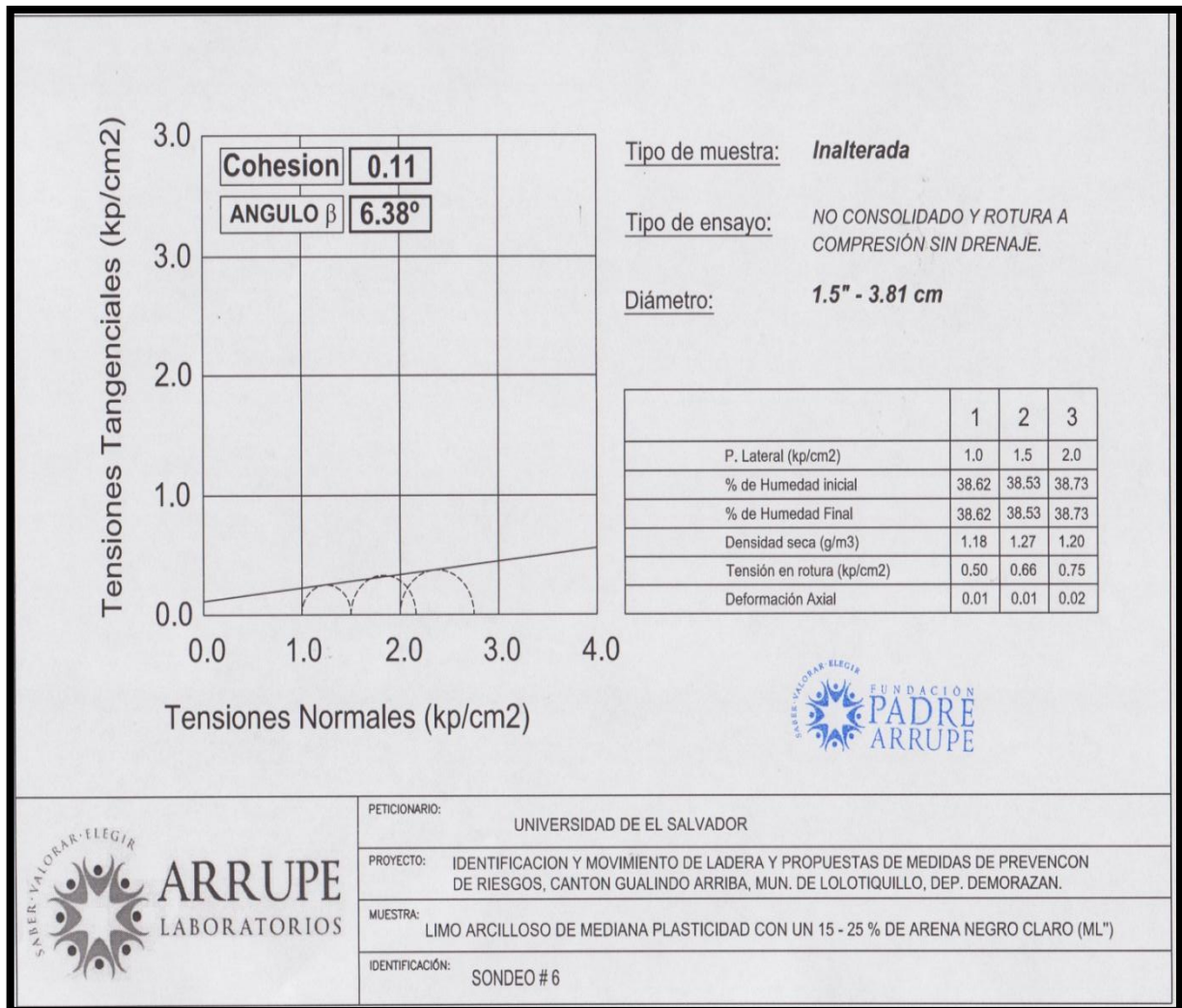
Calle Padre Salazar-Simpson, Finca El Espíritu Santo, Soyapango, San Salvador, El Salvador, C.A.
 Teléfono: (503) 2516-6800 y Fax: (503) 2516-6801
 www.ctapadrearupe.com
 fgallagos@activaelsalvador.com.sv



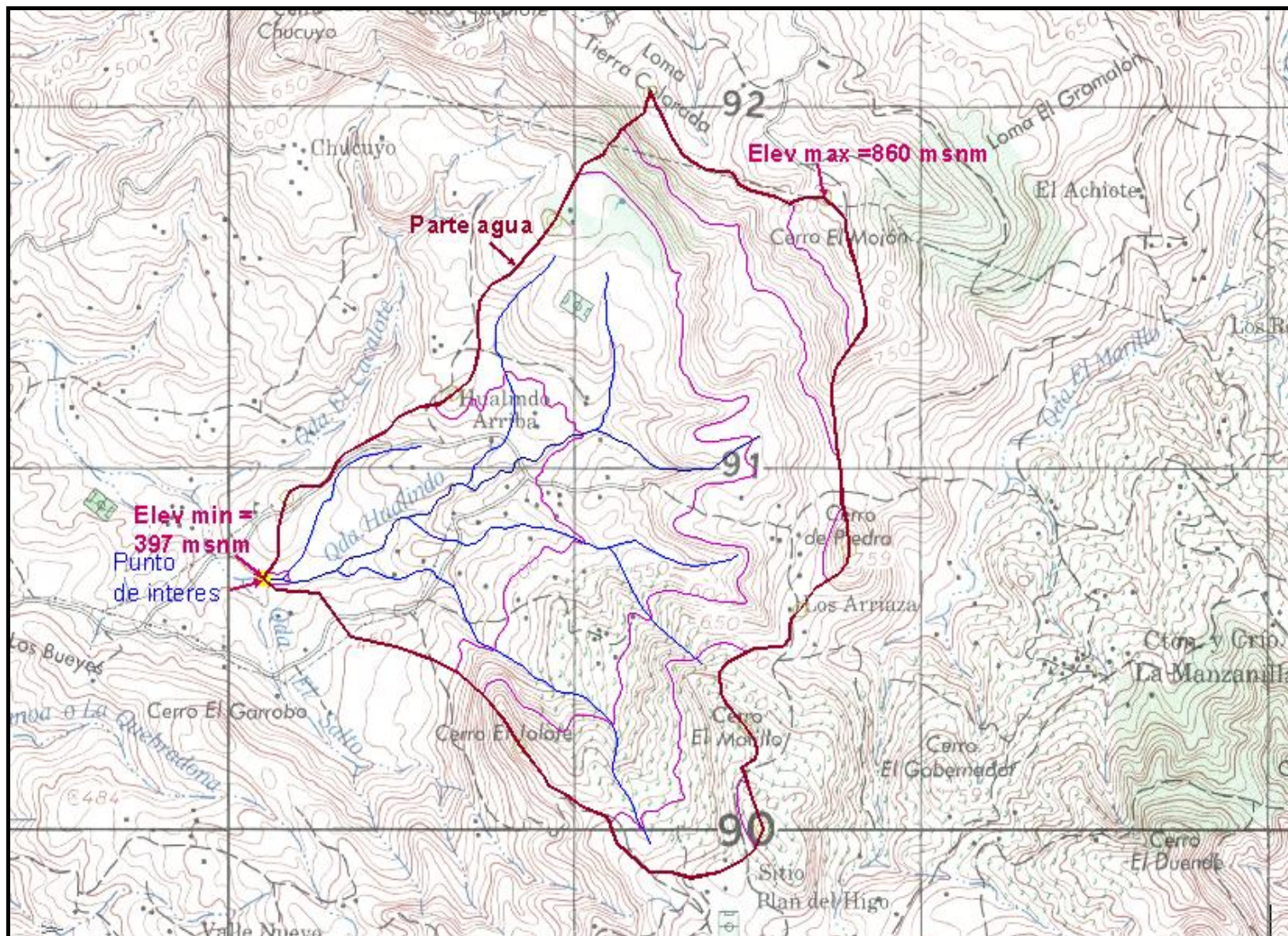
ANEXO 50. Reporte 4 para Compresión Triaxial sondeo 6 Fundación P. Arrupe.



ANEXO 51. Reporte 5 para Compresión Triaxial sondeo 6 Fundación P. Arrupe.



ANEXO 52. Delimitación de la cuenca “Quebradas Gualindo”.



ANEXO 54. Resultados del Estudio Hidrológico.

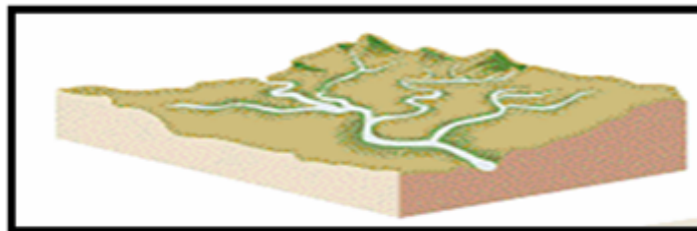
ESTUDIO HIDROLOGICO

LUGAR : **Municipio de Lolotiquillo, Departamento de Morazán.**
 CUENCA : **QUEBRADA GUALINDO**
 CUADRANTE : **San Francisco** ESCALA 1 : **25000**
 Espaciamiento de las curvas de nivel **10.0** metros

CARACTERISTICAS FISICAS DE LA CUENCA

AREA DE LA CUENCA (A) : **2.01** km²
 LONGITUD PERIMETRAL DE LA CUENCA (Lp) : **6.50** km
 LONGITUD DE CAUCE PRINCIPAL (Lc): **1.69** km
 DENSIDAD DE DRENAJE (Dd) : **3.16** km / km²
 longitud total los cauces = **6.36** km
 Cuenca con drenaje regular

DRENAJE DE LA CUENCA : Drenaje Dendritico.



DE SNIVEL DE LA CUENCA : **460.0** m snm
 Elevación mayor Hm ax = **860.0** m snm
 Elevación menor Hm in = **400.0** m snm

LONGITUD DE LAS CURVAS DE NIVEL

Se procede a la determinación de las longitudes de las curvas de nivel, de acuerdo al intervalo de curvas de nivel que viene dado por la fórmula $D = (H_{m\acute{a}x} - H_{m\grave{a}n})/5$. se presentan dos valores, el primero es el valor real de la ecuación, el segundo es valor aproximado de las curva de nivel.

1° D = 92.00 metros = 0.092 km
 2° D = 100.00 metros

Longitud de curvas de nivel

Nº de curvas (m.s.n.m)	Longitud (Km)
800.0	0.71
700.0	2.43
600.0	3.40
500.00	1.81
400.0	0.16
ΣLc	8.50

Hm ax = 860.0 m snm
 Hmin = 400.0 m snm

ELEVACION MEDIA DE LA CUENCA : 685.74 m snm

PRIMER METODO :

SEMI SUMA DE LA ELEVACIONES

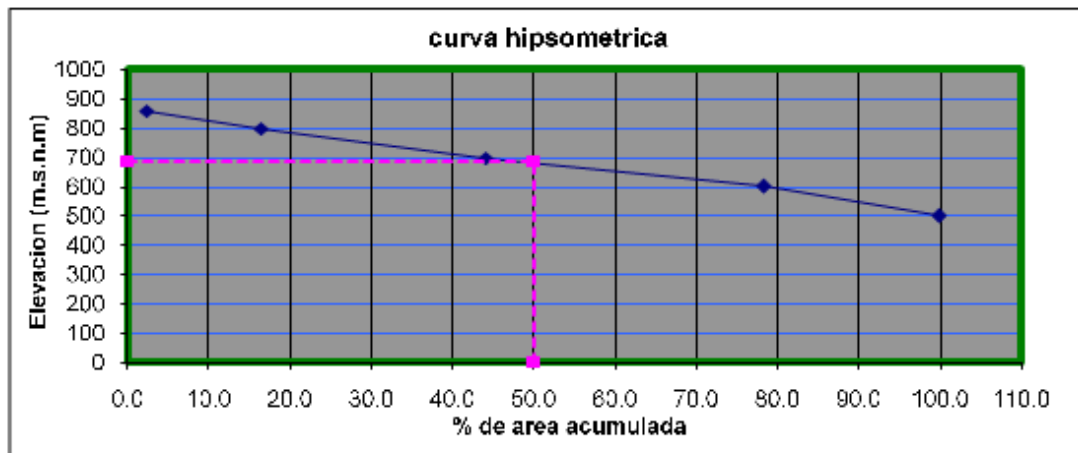
Elevación media = 630.00 m snm

SEGUNDO METODO

CURVA HIPSOMÉTRICA

Con un intervalo entre curvas de nivel a cada 100.00 m.s.n.m, se obtuvieron los siguientes datos :

Elevaciones (m.s.n.m)	Area entre curvas (Km ²)	% de Area	% de Area acumuladas
860-800	0.047	2.34	2.34
800-700	0.283	14.08	16.42
700-600	0.557	27.67	44.09
600-500	0.689	34.26	78.34
500-400	0.436	21.66	100.00
Σ	2.01	100.00	



Elevación media correspondiente al 50% de area acumulada = 685.74 m snm

TERCER METODO

METODO ANALITICO

Calculo de la elevacion media por ecuación

Elevaciones (m.s.n.m)	Area entre curvas (Km ²)	Elevación media entre curvas (m)	Ac + Em
860-800	0.047	830.0	39.01
800-700	0.283	750.0	212.41
700-600	0.557	650.0	361.73
600-500	0.689	550.0	378.93
500-400	0.436	450.0	196.01
Σ	2.01		1188.09

Elevación media = 591.09 m snm

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN

El valor que se utilizara es el obtenido por el segundo metodo, ya que es el de mayor valor y se podria representa como el mas representativo.

Elevacion media = 685.74 msnm

PENDIENTE MEDIA :		38.9 %
$S_m = \frac{\sum (L \cdot D)}{A_c}$		$S_m = 0.39$
		$S_m = 38.9 \%$

CARACTERISTICAS DE COMPARACIÓN DE LA CUENCA

COEFICIENTE DE COMPACIDAD :	1.28
------------------------------------	-------------

$$K_c = \frac{P \times 0.28}{\sqrt{A}} \quad K_c = 1.28$$

Cuenca de forma irregular a ovalada

FACTOR DE FORMA	0.55
------------------------	-------------

$$K_f = \frac{L_m}{L_e} \quad L_m = 0.93 \text{ km} \quad K_f = 0.55$$

$$L_e = 1.69 \text{ km}$$

DETERMINACIÓN DE AVENIDAS MAXIMAS

TIEMPO DE CONCENTRACION DE LA CUENCA

Fórmula de Pickering,

$$T_c = (0.871 L^3 / H)^{0.385}$$

$T_c = 0.16$ horas
 9.84 minutos

Fórmula Empírica de Kirpish

$$T_c = 0.0078 ((L/0.3048)^{0.77}) (S^{-0.385})$$

$T_c = 8.56$ minutos

Tc prom =	9.20	minutos
------------------	-------------	----------------

INTENSIDA DE DISEÑO

Para la obtención de la intensidad de diseño para la cuenca en análisis, es necesario conocer el valor de:

Periodo de Retorno :	25 años	50 años
Tiempo de concentracion :	9.20 minutos	9.20 minutos

INTENSIDAD DE DISEÑO :	3.58 mm/min	3.91 mm/min
-------------------------------	--------------------	--------------------

PARAMETROS GEOLOGICO DE LA CUENCA.

TIPO DE SUELO:

Para identificar el tipo de suelo presente en la cuenca, este fue obtenido apartir de la informacion proporcionadas por los diferentes ensayos hecho al suelo de la cuenca.

Tipo de suelo : arcillas
Conduktividad hidraulica: semipermeable

USO DEL SUELO EN LA CUENCA:

Apartir de datos de campo.

Uso del suelo : suelo poco cultivable; vegetacion ligera
Linea n° : 3 vegetacion ligera

COEFICIENTE DE ESCORRENTIA

Utiliando el Nomograma de Ven-Te-Chow donde el coeficiente de escorrentia esta en fuención de tres variables:

Pendiente media de la cuenca : 38.9 %
Tipo de suelo : semipermeable
Cobertura Vegetal 3 vegetacion ligera

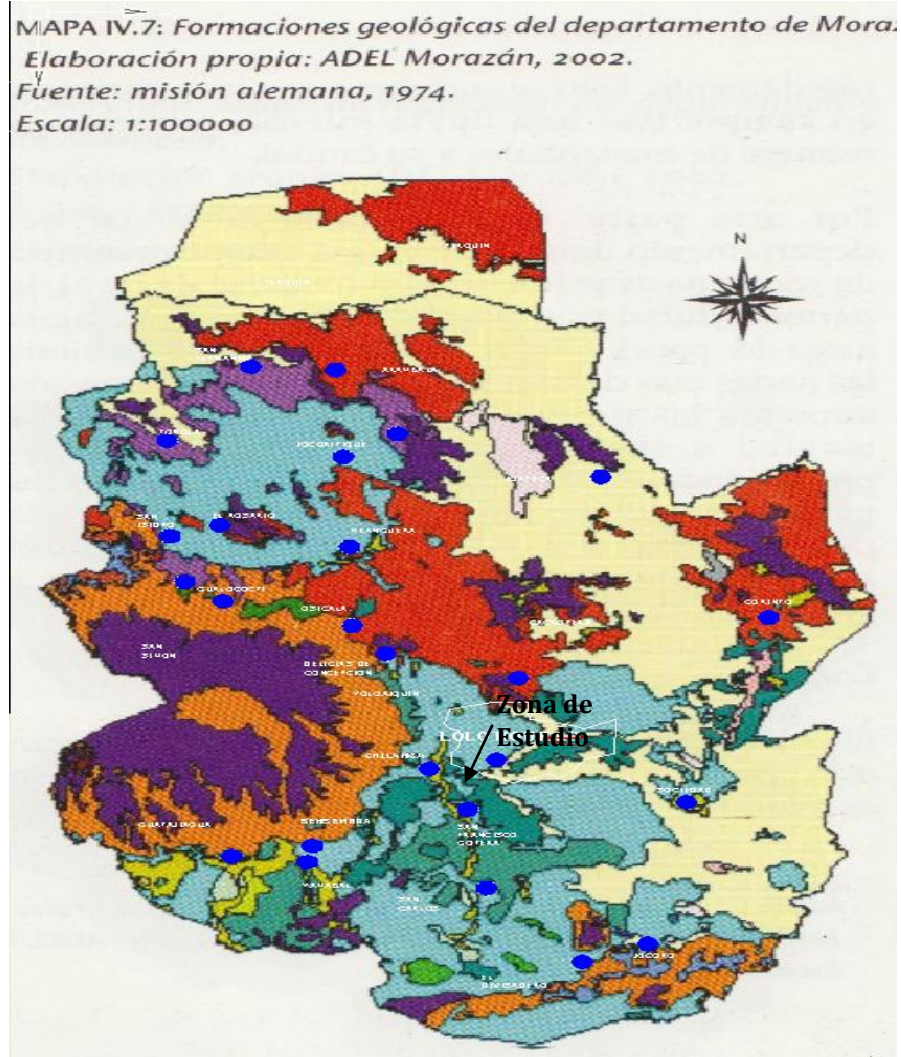
Coeficiente de Escorrentia = 0.49

CALCULO DEL CAUDAL

$$Q = (50/3) C x I x A$$

		Periodo de Retorno :
Q =	58.77	m3/seg 25 años
Q =	64.18	m3/seg 50 años

ANEXO 55. Mapa Geológico del Departamento de Morazán.



Clase	Descripción
b1	Epiclastitas volcánicas y piroclastitas localmente efusivas básicas intermedia, intercalada.
b1-8	Facies de cuencas
b2	Efucivas básicas intermedias, piroclastitas, epiclastitas, volcánicas subordinadas (estratos no diferenciados y edificios volcánicos)
b2-9	Limo rojo
b3	Efusivas básicas intermedias
c1	Piroclastitas ácidas, epiclastitas volcánicas
c1-1	Ignimbritas
c1-7	Epiclastitas volcánicas fluviales
c1-8	Facies de cuencas
c1-A	Sobre moch (en la parte eventualmente más antigua)
c2	Efucivas ácidas y intermedias ácidas (ocurrencias aisladas en partes eventualmente = ch2)
c2-5	Silificación
c3	Efucivas básicas intermedias
ch1	Piroclastitas ácidas, ignimbritas, epiclastitas volcánicas localmente efusivas ácidas intercaladas
ch1-1	Ignimbritas
ch1-7	Epiclastitas volcánicas fluviales
ch2	Efusivas ácidas; piroclastitas ácidas subordinadas
ch2-5	Silificación
m2a	Efusivas intermedias hasta intermedias ácidas, piroclastitas subordinadas (alteración regional por influencia hidrotermal)
m2a-5	Silificación
m2b	Piroclastitas intermedias hasta intermedias ácidas, epiclastitas volcánicas, efusivas subordinadas
Qf	Depositos sedimentarios del cuaternario
s3a	Piroclastita ácida, epiclastitas volcánicas (tobas color café)

ANEXO 56. Base de datos.

Datos Generales

Departamento	Municipio	Cantón	Caserío	Área (m ²)	Volumen (m ³)
Morazán	Lolotiquillo	Gualindo Arriba	Gualindo Arriba	123521.673	5,503398.343

Coordenadas

Este (m)	Norte (m)
600000	290500
600000	292000
601500	290500
601500	292000

Estudio Topográfico

Calles dentro de la zona inestable

Tramo	Longitud (m)	Orientación	Material	Daños
1	119.09	Norte-Oeste	Tierra	Grietas
2	108.18	Norte-Este	Tierra	No Presenta
3	155.38	Sur-Oeste	Tierra	Grietas

Escarpes Laterales

Escarpe	Longitud (m)	Orientación	Rango de altura relativa (m)	Desnivel (m)
Derecho	778.29	Sur-Oeste	1.5 – 0.2	91.78
Izquierdo	540.01	Sur-Oeste	3.5 – 0.5	68.89

Escarpe Principal

Longitud (m)	Orientación	Rango de altura relativa (m)
288.32	Norte-Oeste	1.0 - 5.0

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN

Sistemas de Grietas.			
<i>Sistema</i>	<i>Orientación</i>	<i>Ancho (m)</i>	<i>Ubicación</i>
1	Norte-Este	0.10-1.5	Paralelas a los escarpes laterales.
2	Norte-Oeste	0.10-1.5	En las zonas medias del deslizamiento y cerca de los escarpes laterales.
3	N/A	0.10-1.5	Son radiales y se encuentran paralelas al escarpe principal.

Infraestructura dentro de la zona del deslizamiento.			
<i>Casas</i>	<i>Ermita</i>	<i>Clínica</i>	<i>Escuela</i>
8	1	0	0

Detalles de la Laguna.			
<i>Estado</i>	<i>Diámetro Aproximado (m)</i>	<i>Época</i>	<i>Descripción</i>
Con Agua	56.84	Verano	Esta completamente llena de arbustos que crecen en pantanos, la profundidad del agua al menos en la orilla es de 50 cms.

Nacimientos de agua en la zona.			
<i>Nacimiento</i>	<i>Estado</i>	<i>Época</i>	<i>Uso</i>
1	Con Agua	Verano	El agua es utilizada para diferentes actividades.
2	Con Agua	Verano	Sin Uso.

Detalles geométricos del puente.	
<i>Longitud (m)</i>	<i>Ancho (m)</i>
10.91	3.69

**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE
RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN**

Detalles de las quebradas que transitan por la zona inestable					
<i>Nombre</i>	<i>Estado</i>	<i>Longitud (m)</i>	<i>Pendiente (%)</i>	<i>Ancho (m)</i>	<i>Profundidad (m)</i>
Q. Gualindo	Con Agua	1329.83	14.82	13.86	0.52
No Tiene	Seca	753.9	17.83	5.72	1.47

Ubicación de los Sondeos			
<i>Sondeo</i>	<i>Coordenada Este (m)</i>	<i>Coordenada Norte (m)</i>	<i>Elevación (m)</i>
S-1	600,398.00	290,810.00	432.00
S-2	600,551.00	290,941.00	455.00
S-3	600,593.00	290,978.00	501.00
S-4	600,573.00	291,032.00	491.00
S-5	600,832.00	290,900.00	495.00
S-6	600,833.00	291,173.00	520.00
S-7	601,059.00	291,409.00	560.00

Ubicación de los Bancos de Marca			
<i>Banco de Marca</i>	<i>Coordenada Este (m)</i>	<i>Coordenada Norte (m)</i>	<i>Elevación (m)</i>
Corobán	600,557.41	289,003.41	942.00
Punta Clarín	598,746.89	294,153.72	697.00
1	600,693.00	291,346.00	533.00
2	600,571.00	291,047.00	490.00
3	601,052.00	291,242.00	551.00
4	600,821.00	290,920.00	502.00

Datos generales de los perfiles longitudinales				
<i>Perfil</i>	<i>Pendiente Promedio (%)</i>	<i>Pendiente Máxima (%)</i>	<i>Pendiente Mínima (%)</i>	<i>Longitud (m)</i>
1 - 1	18.91	66.85	0.65	963.66
2 - 2	16.63	71.70	0.05	1051.35
3 - 3	13.64	44.05	1.15	992.04
4 - 4	10.54	44.80	0.0	831.37

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN

Datos generales de los perfiles laterales				
<i>Perfil</i>	<i>Pendiente Promedio (%)</i>	<i>Pendiente Máxima (%)</i>	<i>Pendiente Mínima (%)</i>	<i>Longitud (m)</i>
A-A	19.41	26.8	2.2	301.3
B-B	14.24	-42.95	0	424.35
C-C	10.14	30.35	0.16	387.87
D-D	17.22	44.85	0.8	369.8
E-E	17.24	-52.8	0.65	440.64
F-F	8.12	-22.6	0.25	576.5
G-G	14.79	-37.65	1.47	562.42
H-H	23.02	-59.05	1.2	354.24
I-I	4.33	-5.71	3.45	141.87

Datos Generales de la Elevación en los Perfiles			
<i>Perfil</i>	<i>Mayor Elevación (m)</i>	<i>Menor Elevación (m)</i>	<i>Diferencia de Nivel (m)</i>
1 - 1	285.04	134.94	150.10
2 - 2	280.78	124.36	156.42
3 - 3	250.73	151.60	99.13
4 - 4	228.63	168.36	50.27
A-A	180.64	129.4	51.24
B-B	180.64	143.41	37.23
C-C	189.69	164.86	21.83
D-D	194.02	171.65	22.37
E-E	229.26	192.51	36.65
F-F	221.21	198.3	22.91
G-G	240.4	203.93	36.47
H-H	286.51	230.75	55.76
I-I	275.92	269.63	6.29

Parámetros de las diferentes unidades morfológicas			
<i>Unidad Morfológica</i>	<i>Área (m²)</i>	<i>Tipo de Suelo</i>	<i>Rango de Inclinación (°)</i>
A	27,149.83	Arenas y Limo	45-84
B	87,942.77	Arcillas	0-16
C	20,336.91	Arcillas y Limo	20-31
D	4,664.48	Arcillas y Limo	45-70

**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE
RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN**

Base de Puntos realizada con Estación Total.

Number	Northing	Easting	Elevation	Raw Desc	Full Desc	Latitude	Longitude
1	11711.724	7317.165	200.00	E1	E1	11.1027	-93.3024
2	11660.829	7276.558	202.045	G	G	11.1025	-93.3025
3	11651.574	7287.791	203.419	FIA	FIA	11.1025	-93.3024
4	11648.395	7283.959	203.638	FIA	FIA	11.1025	-93.3025
5	11667.427	7288.671	201.497	G	G	11.1026	-93.3024
6	11668.490	7288.049	201.493	G	G	11.1026	-93.3024
7	11670.986	7294.639	201.241	G	G	11.1026	-93.3024
8	11658.958	7306.577	203.286	FIA	FIA	11.1025	-93.3024
9	11657.900	7307.878	204.027	FIA	FIA	11.1025	-93.3024
10	11661.906	7313.730	203.035	FIAB	FIAB	11.1025	-93.3024
11	11660.973	7313.730	204.568	FIA	FIA	11.1025	-93.3024
12	11662.839	7317.638	203.370	FIAB	FIAB	11.1025	-93.3023
13	11662.673	7317.824	204.412	FIA	FIA	11.1025	-93.3023
14	11664.309	7312.249	202.144	G	G	11.1025	-93.3024
15	11663.354	7324.666	205.600	FIA	FIA	11.1025	-93.3023
16	11688.456	7288.181	195.008	R	R	11.1026	-93.3024
17	11686.824	7294.923	197.119	R	R	11.1026	-93.3024
18	11683.329	7305.543	197.885	R	R	11.1026	-93.3024
19	11681.311	7314.482	197.283	R	R	11.1026	-93.3024
20	11671.603	7336.100	213.812	MFI	MFI	11.1026	-93.3023
21	11675.995	7332.423	214.588	MFI	MFI	11.1026	-93.3023
22	11683.095	7346.512	213.749	MFI	MFI	11.1026	-93.3023
23	11687.984	7359.329	211.527	MFI	MFI	11.1026	-93.3022
24	11727.744	7359.414	199.732	R	R	11.1028	-93.3022
25	11792.025	7345.512	205.968	E2	E2	11.1030	-93.3023
26	11759.085	7369.693	197.773	FIAB	FIAB	11.1029	-93.3022
27	11757.754	7371.765	197.897	FIA	FIA	11.1029	-93.3022
28	11751.075	7360.494	197.105	FIAB	FIAB	11.1028	-93.3022
29	11747.290	7361.136	196.519	FIAB	FIAB	11.1028	-93.3022
30	11766.962	7344.438	197.781	G	G	11.1029	-93.3023
31	11744.773	7367.765	196.527	R	R	11.1028	-93.3022
32	11775.908	7343.127	198.777	G	G	11.1029	-93.3023
33	11787.330	7342.954	200.418	G	G	11.1030	-93.3023
34	11744.210	7391.393	199.207	R	R	11.1028	-93.3021
35	11782.102	7355.042	200.050	G	G	11.1029	-93.3022
36	11768.224	7348.887	197.820	G	G	11.1029	-93.3022
37	11754.534	7407.450	200.766	R	R	11.1028	-93.3021
38	11749.780	7340.526	196.102	G	G	11.1028	-93.3023
39	11768.780	7375.854	198.341	FIA	FIA	11.1029	-93.3022

**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE
RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN**

Number	Northing	Easting	Elevation	Raw Desc	Full Desc	Latitude	Longitude
40	11769.621	7374.250	198.411	FIAB	FIAB	11.1029	-93.3022
41	11758.858	7378.916	198.397	MFI	MFI	11.1029	-93.3022
42	11791.732	7386.367	200.213	FIA	FIA	11.1030	-93.3021
43	11764.776	7378.580	198.419	MFI	MFI	11.1029	-93.3022
44	11772.105	7379.690	198.757	FIA	FIA	11.1029	-93.3021
45	11820.653	7395.456	201.738	FIA	FIA	11.1031	-93.3021
46	11779.229	7363.503	200.281	G	G	11.1029	-93.3022
47	11785.901	7363.072	200.947	G	G	11.1029	-93.3022
48	11792.814	7361.354	201.992	G	G	11.1030	-93.3022
49	11799.493	7362.938	202.810	G	G	11.1030	-93.3022
50	11846.242	7404.814	205.218	FIA	FIA	11.1031	-93.3021
51	11802.743	7354.618	203.341	G	G	11.1030	-93.3022
52	11785.709	7319.905	201.610	CA	CA	11.1029	-93.3023
53	11830.131	7419.593	206.967	CA	CA	11.1031	-93.3020
54	11803.168	7409.759	203.127	MFI	MFI	11.1030	-93.3021
55	11821.454	7340.110	205.229	CA	CA	11.1031	-93.3023
56	11773.839	7412.427	203.494	MFI	MFI	11.1029	-93.3020
57	11785.649	7398.075	201.175	MFI	MFI	11.1029	-93.3021
58	11820.600	7392.658	201.829	G	G	11.1031	-93.3021
59	11831.289	7388.200	203.742	G	G	11.1031	-93.3021
60	11831.839	7385.826	204.541	G	G	11.1031	-93.3021
61	11822.439	7385.862	202.634	G	G	11.1031	-93.3021
62	11813.237	7386.573	201.566	G	G	11.1030	-93.3021
63	11823.792	7397.948	202.617	E3	E3	11.1031	-93.3021
64	11874.516	7384.467	209.461	E4	E4	11.1032	-93.3021
65	11857.884	7408.407	208.660	FIAB	FIAB	11.1032	-93.3021
66	11857.633	7408.656	209.658	FIA	FIA	11.1032	-93.3021
67	11872.939	7418.242	214.685	FIAB	FIAB	11.1032	-93.3020
68	11872.725	7418.638	215.675	FIA	FIA	11.1032	-93.3020
69	11871.203	7423.811	217.009	MFI	MFI	11.1032	-93.3020
70	11882.930	7422.560	217.632	FIAB	FIAB	11.1033	-93.3020
71	11882.809	7422.807	218.748	FIA	FIA	11.1033	-93.3020
72	11860.747	7420.428	212.205	MFI	MFI	11.1032	-93.3020
73	11880.459	7431.697	221.280	MFI	MFI	11.1033	-93.3020
74	11890.325	7422.015	216.640	FIAB	FIAB	11.1033	-93.3020
75	11890.494	7422.649	218.444	FIA	FIA	11.1033	-93.3020
76	11889.571	7418.713	214.415	FIAB	FIAB	11.1033	-93.3020
77	11891.586	7429.979	222.163	MFI	MFI	11.1033	-93.3020
78	11884.928	7411.991	211.979	NA	NA	11.1033	-93.3020
79	11898.663	7422.279	215.929	FIAB	FIAB	11.1033	-93.3020

**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE
RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN**

Number	Northing	Easting	Elevation	Raw Desc	Full Desc	Latitude	Longitude
80	11899.259	7423.780	219.562	FIA	FIA	11.1033	-93.3020
81	11906.146	7437.915	226.003	MFI	MFI	11.1033	-93.3020
82	11921.345	7370.070	214.416	E5	E5	11.1034	-93.3022
83	11878.705	7362.476	207.518	G	G	11.1032	-93.3022
84	11892.119	7370.127	208.019	G	G	11.1033	-93.3022
85	11906.724	7425.663	222.137	FIA	FIA	11.1033	-93.3020
86	11906.559	7421.351	217.063	FIAB	FIAB	11.1033	-93.3020
87	11918.832	7421.450	219.890	FIAB	FIAB	11.1034	-93.3020
88	11918.805	7424.950	223.284	FIA	FIA	11.1034	-93.3020
89	11925.766	7421.282	221.279	NA	NA	11.1034	-93.3020
90	11920.595	7442.300	230.378	MFI	MFI	11.1034	-93.3020
91	11926.722	7424.706	224.937	FIA	FIA	11.1034	-93.3020
92	11927.475	7429.309	227.019	FIA	FIA	11.1034	-93.3020
93	11928.802	7420.077	221.913	FIAB	FIAB	11.1034	-93.3020
94	11929.291	7421.426	224.575	FIA	FIA	11.1034	-93.3020
95	11938.611	7423.845	228.351	FIAB	FIAB	11.1034	-93.3020
96	11938.093	7424.755	230.002	FIA	FIA	11.1034	-93.3020
97	11931.964	7420.370	224.786	DB	DB	11.1034	-93.3020
98	11931.136	7415.322	222.704	DB	DB	11.1034	-93.3020
99	11953.206	7432.400	237.654	EP	EP	11.1035	-93.3020
100	11952.520	7430.037	234.753	ES	ES	11.1035	-93.3020
101	11953.920	7428.056	234.235	ES	ES	11.1035	-93.3020
102	11957.188	7430.980	238.643	ES	ES	11.1035	-93.3020
103	11970.768	7437.771	245.291	ES	ES	11.1036	-93.3020
104	11912.457	7400.809	216.179	CAU	CAU	11.1034	-93.3021
105	11920.362	7401.122	217.868	CAU	CAU	11.1034	-93.3021
106	11929.244	7402.006	219.575	CAU	CAU	11.1034	-93.3021
107	11973.593	7429.164	244.821	ZD	ZD	11.1036	-93.3020
108	11929.672	7396.638	214.430	CAU	CAU	11.1034	-93.3021
109	11923.069	7393.583	212.734	CAU	CAU	11.1034	-93.3021
110	11969.700	7421.683	240.397	ES	ES	11.1035	-93.3020
111	11915.128	7390.542	211.626	CAU	CAU	11.1034	-93.3021
112	11918.278	7372.133	213.907	CAU	CAU	11.1034	-93.3022
113	11926.751	7376.053	215.555	CAU	CAU	11.1034	-93.3022
114	11976.273	7420.320	241.972	ES	ES	11.1036	-93.3020
115	11936.906	7381.627	218.106	CAU	CAU	11.1034	-93.3022
116	11991.496	7429.323	251.792	ZD	ZD	11.1036	-93.3020
117	11948.861	7354.635	219.560	ES	ES	11.1035	-93.3022
118	11942.338	7348.617	214.624	ES	ES	11.1035	-93.3023
119	11934.980	7363.993	217.672	E6	E6	11.1034	-93.3022

**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE
RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN**

Number	Northing	Easting	Elevation	Raw Desc	Full Desc	Latitude	Longitude
120	12003.430	7414.823	258.337	ZD	ZD	11.1037	-93.3020
121	12010.174	7398.579	262.081	ZD	ZD	11.1037	-93.3021
122	12006.381	7396.776	259.337	EP	EP	11.1037	-93.3021
123	11995.251	7379.121	245.015	ES	ES	11.1036	-93.3022
124	11990.555	7379.963	242.403	ES	ES	11.1036	-93.3022
125	11975.214	7364.025	238.147	ES	ES	11.1036	-93.3022
126	11961.909	7371.160	228.864	ZD	ZD	11.1035	-93.3022
127	11962.030	7364.094	230.152	ES	ES	11.1035	-93.3022
128	11959.434	7362.558	228.629	ES	ES	11.1035	-93.3022
129	11953.794	7358.135	224.890	ES	ES	11.1035	-93.3022
130	11943.424	7345.415	215.300	G	G	11.1035	-93.3023
131	11947.404	7343.213	217.890	G	G	11.1035	-93.3023
132	11952.969	7342.893	222.062	G	G	11.1035	-93.3023
133	11955.593	7343.976	224.683	G	G	11.1035	-93.3023
134	11958.897	7343.399	227.439	G	G	11.1035	-93.3023
135	11943.193	7312.617	215.365	E7	E7	11.1035	-93.3024
136	11961.043	7336.135	228.404	ZD	ZD	11.1035	-93.3023
137	11934.908	7316.586	212.083	G	G	11.1034	-93.3024
138	11935.978	7319.871	212.115	G	G	11.1034	-93.3024
139	11965.678	7323.977	225.562	ZD	ZD	11.1035	-93.3023
140	11937.316	7324.393	211.994	G	G	11.1034	-93.3023
141	11970.912	7323.985	229.147	G	G	11.1035	-93.3023
142	11931.410	7323.003	210.151	G	G	11.1034	-93.3023
143	11971.764	7324.263	229.737	G	G	11.1035	-93.3023
144	11931.797	7326.421	209.124	G	G	11.1034	-93.3023
145	11977.758	7325.139	233.431	G	G	11.1036	-93.3023
146	11930.436	7331.523	208.781	G	G	11.1034	-93.3023
147	11982.985	7325.178	237.233	G	G	11.1036	-93.3023
148	11925.168	7331.317	207.469	G	G	11.1034	-93.3023
149	11987.968	7326.800	238.928	G	G	11.1036	-93.3023
150	11927.442	7327.630	207.880	G	G	11.1034	-93.3023
151	11922.633	7332.783	207.966	G	G	11.1034	-93.3023
152	11925.199	7329.296	207.527	G	G	11.1034	-93.3023
153	11926.296	7322.603	208.328	G	G	11.1034	-93.3023
154	11962.311	7317.810	223.932	G	G	11.1035	-93.3024
155	11960.611	7315.273	223.551	G	G	11.1035	-93.3024
156	11958.516	7311.886	222.222	G	G	11.1035	-93.3024
157	11954.672	7311.363	219.887	G	G	11.1035	-93.3024
158	11937.292	7329.152	211.836	ZCU	ZCU	11.1034	-93.3023
159	11920.003	7323.675	206.597	ZCU	ZCU	11.1034	-93.3023

**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE
RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN**

Number	Northing	Easting	Elevation	Raw Desc	Full Desc	Latitude	Longitude
160	11963.447	7310.940	224.375	E8	E8	11.1035	-93.3024
161	11988.627	7316.426	237.706	NA	NA	11.1036	-93.3024
162	11990.893	7318.362	237.341	NA	NA	11.1036	-93.3024
163	11987.971	7318.464	236.504	NA	NA	11.1036	-93.3024
164	11985.240	7303.588	233.424	ZD	ZD	11.1036	-93.3024
165	11985.604	7293.963	232.405	ZD	ZD	11.1036	-93.3024
166	11968.863	7282.125	220.329	ZD	ZD	11.1035	-93.3025
167	12005.710	7295.199	240.866	E9	E9	11.1037	-93.3024
168	12007.411	7310.546	243.517	G	G	11.1037	-93.3024
169	12009.048	7307.518	243.975	G	G	11.1037	-93.3024
170	12017.227	7303.054	246.202	G	G	11.1037	-93.3024
171	12010.453	7329.104	249.305	EP	EP	11.1037	-93.3023
172	12009.343	7326.336	246.507	EP	EP	11.1037	-93.3023
173	12017.962	7315.242	246.609	EP	EP	11.1037	-93.3024
174	12020.562	7320.498	250.587	EP	EP	11.1037	-93.3024
175	12024.999	7321.077	253.346	EP	EP	11.1037	-93.3024
176	12024.602	7320.194	252.229	EP	EP	11.1037	-93.3024
177	12033.574	7312.669	253.780	EP	EP	11.1037	-93.3024
178	12034.319	7312.601	255.185	EP	EP	11.1038	-93.3024
179	12035.301	7310.918	255.234	EP	EP	11.1038	-93.3024
180	12036.648	7283.065	248.267	G	G	11.1038	-93.3025
181	12035.642	7309.397	254.401	EP	EP	11.1038	-93.3024
182	12032.215	7290.467	248.661	G	G	11.1037	-93.3025
183	12035.680	7308.907	254.134	EP	EP	11.1038	-93.3024
184	12028.864	7297.356	249.131	G	G	11.1037	-93.3024
185	12022.104	7309.424	247.020	G	G	11.1037	-93.3024
186	12024.954	7294.140	248.066	E10	E10	11.1037	-93.3024
187	12042.337	7309.121	259.230	EP	EP	11.1038	-93.3024
188	12045.675	7303.928	260.307	EP	EP	11.1038	-93.3024
189	12044.125	7299.427	258.095	EP	EP	11.1038	-93.3024
190	12058.324	7273.658	250.789	ZG	ZG	11.1038	-93.3025
191	12045.598	7295.974	257.280	EP	EP	11.1038	-93.3024
192	12045.865	7295.999	258.927	EP	EP	11.1038	-93.3024
193	12018.829	7306.818	246.542	ZG	ZG	11.1037	-93.3024
194	12045.619	7291.194	256.768	EP	EP	11.1038	-93.3025
195	12050.410	7296.828	261.932	ZC	ZC	11.1038	-93.3024
196	12048.986	7306.012	263.981	ZC	ZC	11.1038	-93.3024
197	12030.848	7334.904	262.648	ZC	ZC	11.1037	-93.3023
198	12049.833	7308.302	265.156	E11	E11	11.1038	-93.3024
199	12068.835	7395.993	288.172	E12	E12	11.1039	-93.3021

**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE
RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN**

Number	Northing	Easting	Elevation	Raw Desc	Full Desc	Latitude	Longitude
200	12076.824	7401.569	287.335	ZC	ZC	11.1039	-93.3021
201	12041.846	7375.467	277.903	ZC	ZC	11.1038	-93.3022
202	12066.995	7432.608	281.400	ZC	ZC	11.1039	-93.3020
203	12058.846	7356.701	277.477	ZC	ZC	11.1038	-93.3022
204	12086.572	7420.870	281.901	ZC	ZC	11.1039	-93.3020
205	12068.071	7363.501	279.173	ZC	ZC	11.1039	-93.3022
206	12075.121	7341.904	279.329	ZC	ZC	11.1039	-93.3023
207	12094.359	7425.847	280.131	ZC	ZC	11.1040	-93.3020
208	12088.140	7329.364	280.531	ZC	ZC	11.1039	-93.3023
209	12111.570	7337.621	286.602	ZC	ZC	11.1040	-93.3023
210	12080.134	7358.793	282.281	ZC	ZC	11.1039	-93.3022
211	12100.171	7427.364	281.303	ZC	ZC	11.1040	-93.3020
212	12059.073	7377.833	280.241	ZC	ZC	11.1038	-93.3022
213	12038.203	7411.297	281.258	ZC	ZC	11.1038	-93.3021
214	12133.074	7470.471	272.081	E13	E13	11.1041	-93.3019
215	12063.547	7389.626	284.140	ZC	ZC	11.1039	-93.3021
216	12087.527	7491.535	271.205	ZC	ZC	11.1039	-93.3018
217	12099.514	7457.403	275.035	CHC	CHC	11.1040	-93.3019
218	12073.820	7494.260	270.612	ZC	ZC	11.1039	-93.3018
219	12132.299	7397.772	276.046	CHC	CHC	11.1041	-93.3021
220	12178.912	7419.991	274.482	CHC	CHC	11.1042	-93.3020
221	12092.093	7504.296	268.363	ZC	ZC	11.1040	-93.3018
222	12198.399	7525.537	272.697	L	L	11.1043	-93.3017
223	12186.675	7537.313	271.965	L	L	11.1043	-93.3017
224	12216.230	7526.381	273.398	L	L	11.1044	-93.3017
225	12217.334	7545.573	274.565	L	L	11.1044	-93.3016
226	12217.374	7554.374	275.236	L	L	11.1044	-93.3016
227	12174.370	7510.242	271.499	ZC	ZC	11.1042	-93.3017
228	12146.600	7504.612	270.978	ZC	ZC	11.1041	-93.3018
229	12017.198	7205.458	219.561	E14	E14	11.1037	-93.3027
230	12056.717	7280.669	255.004	EP	EP	11.1038	-93.3025
231	12055.475	7279.895	253.426	EP	EP	11.1038	-93.3025
232	12061.512	7276.779	254.474	EP	EP	11.1038	-93.3025
233	12061.293	7276.448	253.718	EP	EP	11.1038	-93.3025
234	12063.224	7273.476	254.090	ZC	ZC	11.1038	-93.3025
235	12062.956	7273.207	253.255	ZC	ZC	11.1038	-93.3025
236	12066.557	7278.355	255.815	ZC	ZC	11.1039	-93.3025
237	12063.231	7264.160	250.339	FDA	FDA	11.1038	-93.3025
238	12062.802	7264.278	249.593	FDAB	FDAB	11.1038	-93.3025
239	12059.740	7254.154	242.134	FDA	FDA	11.1038	-93.3026

**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE
RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN**

Number	Northing	Easting	Elevation	Raw Desc	Full Desc	Latitude	Longitude
240	12059.782	7250.729	240.201	FDA	FDA	11.1038	-93.3026
241	12058.394	7252.237	240.433	FDA	FDA	11.1038	-93.3026
242	12036.468	7229.975	226.895	ZD	ZD	11.1038	-93.3027
243	12061.739	7203.536	225.268	R	R	11.1038	-93.3027
244	12048.952	7234.169	229.519	FDA	FDA	11.1038	-93.3026
245	12057.782	7201.820	223.988	R	R	11.1038	-93.3028
246	12043.562	7226.283	225.370	ZD	ZD	11.1038	-93.3027
247	12048.670	7203.028	222.777	R	R	11.1038	-93.3027
248	12032.476	7219.017	220.954	ZD	ZD	11.1037	-93.3027
249	12046.745	7211.176	224.252	ZD	ZD	11.1038	-93.3027
250	12025.831	7222.189	220.014	FDA	FDA	11.1037	-93.3027
251	12042.846	7203.002	222.048	R	R	11.1038	-93.3027
252	12019.972	7217.896	217.357	FDA	FDA	11.1037	-93.3027
253	12039.168	7200.904	221.163	R	R	11.1038	-93.3028
254	12010.659	7212.629	216.383	FDA	FDA	11.1037	-93.3027
255	12033.016	7199.977	219.876	R	R	11.1037	-93.3028
256	12016.330	7211.433	217.594	FDA	FDA	11.1037	-93.3027
257	12016.100	7199.203	218.140	R	R	11.1037	-93.3028
258	12013.485	7208.258	217.677	FDA	FDA	11.1037	-93.3027
259	12012.375	7200.915	217.163	R	R	11.1037	-93.3028
260	12002.529	7209.684	216.123	FDA	FDA	11.1036	-93.3027
261	12011.716	7210.231	216.027	R	R	11.1037	-93.3027
262	11998.777	7209.469	216.211	FDA	FDA	11.1036	-93.3027
263	11991.720	7219.223	213.935	R	R	11.1036	-93.3027
264	11991.801	7204.101	216.023	FDA	FDA	11.1036	-93.3027
265	11987.615	7226.826	213.034	R	R	11.1036	-93.3027
266	12003.312	7208.008	216.173	FDA	FDA	11.1036	-93.3027
267	11968.523	7231.229	211.166	R	R	11.1035	-93.3026
268	11997.117	7201.958	216.804	FDA	FDA	11.1036	-93.3027
269	11968.183	7227.868	211.979	R	R	11.1035	-93.3027
270	11995.155	7200.630	217.000	FDA	FDA	11.1036	-93.3028
271	11995.524	7202.340	216.574	FDA	FDA	11.1036	-93.3027
272	11958.324	7233.099	210.687	R	R	11.1035	-93.3026
273	11987.962	7198.138	215.391	FDA	FDA	11.1036	-93.3028
274	11951.712	7233.934	209.707	R	R	11.1035	-93.3026
275	11985.594	7201.747	214.788	FDA	FDA	11.1036	-93.3027
276	11950.600	7231.966	211.026	ZD	ZD	11.1035	-93.3026
277	11985.523	7193.514	215.437	FDA	FDA	11.1036	-93.3028
278	11941.082	7240.977	209.961	ZD	ZD	11.1034	-93.3026
279	11940.943	7244.142	209.069	R	R	11.1034	-93.3026

**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE
RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN**

Number	Northing	Easting	Elevation	Raw Desc	Full Desc	Latitude	Longitude
280	11936.247	7245.939	208.640	R	R	11.1034	-93.3026
281	11923.538	7227.643	214.807	E15	E15	11.1034	-93.3027
282	11967.768	7241.422	214.230	ZD	ZD	11.1035	-93.3026
283	11985.937	7193.686	216.036	FDA	FDA	11.1036	-93.3028
284	11980.208	7248.365	215.878	ZD	ZD	11.1036	-93.3026
285	11980.074	7187.980	215.176	FDA	FDA	11.1036	-93.3028
286	11955.877	7249.000	213.457	ZD	ZD	11.1035	-93.3026
287	11971.882	7181.436	214.671	FDA	FDA	11.1035	-93.3028
288	11937.577	7267.297	214.174	ZD	ZD	11.1034	-93.3025
289	11965.348	7172.635	214.477	FDA	FDA	11.1035	-93.3028
290	11921.814	7258.485	208.998	ZD	ZD	11.1034	-93.3026
291	11971.675	7167.070	215.802	MFD	MFD	11.1035	-93.3029
292	11988.173	7180.196	217.641	MFD	MFD	11.1036	-93.3028
293	11970.429	7194.674	212.557	G	G	11.1035	-93.3028
294	11962.182	7184.912	212.500	G	G	11.1035	-93.3028
295	11955.844	7179.184	212.829	G	G	11.1035	-93.3028
296	11954.682	7181.228	212.389	G	G	11.1035	-93.3028
297	11951.778	7177.799	214.139	G	G	11.1035	-93.3028
298	11949.206	7175.133	216.130	FDA	FDA	11.1035	-93.3028
299	11943.786	7188.507	214.295	G	G	11.1034	-93.3028
300	11947.192	7165.454	218.445	FDA	FDA	11.1035	-93.3029
301	11944.258	7160.326	219.700	FDA	FDA	11.1034	-93.3029
302	11938.181	7182.072	215.543	G	G	11.1034	-93.3028
303	11942.650	7169.083	218.643	ZD	ZD	11.1034	-93.3029
304	11929.616	7176.202	213.987	G	G	11.1034	-93.3028
305	11925.273	7178.241	213.548	G	G	11.1034	-93.3028
306	11941.429	7171.969	217.547	FDA	FDA	11.1034	-93.3028
307	11919.848	7173.113	213.001	G	G	11.1034	-93.3028
308	11938.121	7166.588	217.564	FDA	FDA	11.1034	-93.3029
309	11909.232	7165.592	212.853	G	G	11.1033	-93.3029
310	11939.832	7156.485	220.171	FDA	FDA	11.1034	-93.3029
311	11900.101	7156.986	215.275	G	G	11.1033	-93.3029
312	11934.463	7161.330	218.134	FDA	FDA	11.1034	-93.3029
313	11931.198	7148.457	220.796	FDA	FDA	11.1034	-93.3029
314	11926.796	7153.891	218.016	FDA	FDA	11.1034	-93.3029
315	11915.918	7134.991	222.180	FDA	FDA	11.1034	-93.3030
316	11909.173	7127.404	223.686	FDA	FDA	11.1033	-93.3030
317	11900.104	7130.889	223.283	E16	E16	11.1033	-93.3030
318	11918.882	7123.267	225.634	PS	PS	11.1034	-93.3030
319	11920.646	7130.977	224.526	PS	PS	11.1034	-93.3030

**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE
RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN**

Number	Northing	Easting	Elevation	Raw Desc	Full Desc	Latitude	Longitude
320	11910.973	7128.966	223.109	FDA	FDA	11.1033	-93.3030
321	11897.378	7141.126	221.346	PS	PS	11.1033	-93.3029
322	11903.661	7119.746	224.777	FDA	FDA	11.1033	-93.3030
323	11891.370	7107.228	225.750	FDA	FDA	11.1033	-93.3031
324	11893.733	7146.996	218.297	G	G	11.1033	-93.3029
325	11885.912	7100.519	229.163	MFD	MFD	11.1033	-93.3031
326	11891.716	7139.680	219.689	G	G	11.1033	-93.3029
327	11892.808	7095.104	230.764	MFD	MFD	11.1033	-93.3031
328	11888.598	7129.211	221.626	G	G	11.1033	-93.3030
329	11888.899	7092.211	231.399	MFD	MFD	11.1033	-93.3031
330	11881.268	7110.351	226.940	MFD	MFD	11.1032	-93.3030
331	11882.017	7128.334	219.085	G	G	11.1032	-93.3030
332	11885.106	7115.048	223.959	FDA	FDA	11.1033	-93.3030
333	11884.912	7119.192	222.947	G	G	11.1033	-93.3030
334	11869.222	7108.714	223.266	MFD	MFD	11.1032	-93.3030
335	11828.134	7157.882	206.993	E17	E17	11.1031	-93.3029
336	11870.667	7134.080	211.706	FDA	FDA	11.1032	-93.3030
337	11877.891	7134.227	215.477	FDA	FDA	11.1032	-93.3030
338	11864.328	7134.108	209.254	FDA	FDA	11.1032	-93.3030
339	11855.332	7131.611	206.794	FDA	FDA	11.1032	-93.3030
340	11854.585	7122.312	210.567	MFD	MFD	11.1032	-93.3030
341	11845.881	7127.180	207.188	FDA	FDA	11.1031	-93.3030
342	11842.241	7132.243	206.142	ZD	ZD	11.1031	-93.3030
343	11836.506	7113.534	214.987	MFD	MFD	11.1031	-93.3030
344	11863.230	7154.392	210.158	ZD	ZD	11.1032	-93.3029
345	11841.976	7165.364	209.669	ZD	ZD	11.1031	-93.3029
346	11829.098	7168.176	208.976	ZD	ZD	11.1031	-93.3028
347	11828.350	7101.726	216.290	MFD	MFD	11.1031	-93.3031
348	11824.312	7127.201	206.613	FDA	FDA	11.1031	-93.3030
349	11812.805	7147.849	201.623	ZD	ZD	11.1030	-93.3029
350	11817.647	7127.457	205.127	FDA	FDA	11.1030	-93.3030
351	11816.544	7142.751	201.671	G	G	11.1030	-93.3029
352	11809.350	7124.794	202.457	FDA	FDA	11.1030	-93.3030
353	11804.486	7140.537	198.384	G	G	11.1030	-93.3029
354	11803.089	7121.583	199.315	FDA	FDA	11.1030	-93.3030
355	11789.335	7134.842	194.396	G	G	11.1029	-93.3030
356	11795.840	7118.538	197.997	FDA	FDA	11.1030	-93.3030
357	11786.840	7133.137	193.870	G	G	11.1029	-93.3030
358	11788.420	7114.320	196.359	FDA	FDA	11.1029	-93.3030
359	11783.265	7143.276	194.122	G	G	11.1029	-93.3029

**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE
RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN**

Number	Northing	Easting	Elevation	Raw Desc	Full Desc	Latitude	Longitude
360	11781.249	7110.844	194.092	FDA	FDA	11.1029	-93.3030
361	11787.716	7127.835	193.936	G	G	11.1029	-93.3030
362	11784.309	7101.992	198.218	MFD	MFD	11.1029	-93.3031
363	11781.455	7110.900	194.202	FDA	FDA	11.1029	-93.3030
364	11774.091	7110.914	191.761	FDA	FDA	11.1029	-93.3030
365	11766.992	7103.804	191.397	FDA	FDA	11.1029	-93.3031
366	11776.156	7140.599	191.931	G	G	11.1029	-93.3029
367	11786.488	7153.451	193.728	G	G	11.1029	-93.3029
368	11789.984	7159.282	194.406	G	G	11.1029	-93.3029
369	11796.497	7168.600	197.110	G	G	11.1030	-93.3028
370	11801.100	7177.709	200.110	ZD	ZD	11.1030	-93.3028
371	11806.853	7183.805	201.768	ZD	ZD	11.1030	-93.3028
372	11811.548	7189.112	202.677	PS	PS	11.1030	-93.3028
373	11777.495	7178.751	192.657	CA	CA	11.1029	-93.3028
374	11772.686	7117.072	191.673	E18	E18	11.1029	-93.3030
375	11765.872	7103.082	191.048	FDA	FDA	11.1029	-93.3031
376	11759.780	7096.074	187.620	CP	CP	11.1028	-93.3031
377	11757.730	7093.952	187.585	E19	E19	11.1028	-93.3031
378	11750.653	7045.482	185.440	CP	CP	11.1028	-93.3032
379	11746.545	7047.083	185.308	CP	CP	11.1028	-93.3032
380	11757.533	7074.709	185.595	CP	CP	11.1028	-93.3032
381	11747.418	7109.256	188.154	CP	CP	11.1028	-93.3030
382	11751.351	7109.429	187.640	CP	CP	11.1028	-93.3030
383	11749.229	7118.601	188.591	E20	E20	11.1028	-93.3030
384	11749.096	7129.718	189.882	PS	PS	11.1028	-93.3030
385	11754.314	7158.790	191.620	CP	CP	11.1028	-93.3029
386	11756.801	7158.173	191.379	CP	CP	11.1028	-93.3029
387	11762.448	7204.776	193.074	E21	E21	11.1029	-93.3027
388	11758.678	7162.470	192.331	CP	CP	11.1028	-93.3029
389	11759.742	7174.583	192.477	CP	CP	11.1029	-93.3028
390	11763.622	7172.570	192.998	CA	CA	11.1029	-93.3028
391	11758.160	7183.825	192.689	ER	ER	11.1028	-93.3028
392	11757.554	7188.287	192.964	ER	ER	11.1028	-93.3028
393	11758.528	7203.738	193.081	ER	ER	11.1028	-93.3027
394	11749.355	7204.633	192.839	ER	ER	11.1028	-93.3027
395	11765.006	7203.269	193.382	CA	CA	11.1029	-93.3027
396	11762.946	7232.635	193.176	PS	PS	11.1029	-93.3026
397	11755.640	7231.323	192.354	CP	CP	11.1028	-93.3026
398	11755.571	7237.380	192.728	CP	CP	11.1028	-93.3026
399	11758.050	7238.998	192.828	CP	CP	11.1028	-93.3026

**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE
RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN**

Number	Northing	Easting	Elevation	Raw Desc	Full Desc	Latitude	Longitude
400	11762.135	7248.011	194.308	CP	CP	11.1029	-93.3026
401	11703.981	7274.382	193.839	P	P	11.1027	-93.3025
402	11692.661	7276.920	194.390	P	P	11.1026	-93.3025
403	11701.838	7271.118	193.902	P	P	11.1027	-93.3025
404	11683.968	7286.440	196.770	PS	PS	11.1026	-93.3025
405	11676.088	7288.968	198.644	MURO	MURO	11.1026	-93.3024
406	11689.401	7211.565	191.276	E22	E22	11.1026	-93.3027
407	11706.909	7219.974	192.162	ZD	ZD	11.1027	-93.3027
408	11699.455	7227.315	192.344	ZD	ZD	11.1027	-93.3026
409	11644.265	7285.766	200.887	FIA	FIA	11.1025	-93.3024
410	11634.836	7271.288	199.691	FIA	FIA	11.1025	-93.3025
411	11649.809	7276.779	199.711	G	G	11.1025	-93.3025
412	11651.401	7273.903	198.807	G	G	11.1025	-93.3025
413	11636.036	7253.872	197.629	FIA	FIA	11.1025	-93.3026
414	11628.884	7241.378	197.649	FIA	FIA	11.1024	-93.3026
415	11625.967	7243.965	197.552	CA	CA	11.1024	-93.3026
416	11646.843	7245.295	197.096	ZD	ZD	11.1025	-93.3026
417	11688.067	7201.978	191.255	ZD	ZD	11.1026	-93.3027
418	11694.730	7199.020	190.862	ZD	ZD	11.1026	-93.3027
419	11692.344	7195.508	190.010	ES	ES	11.1026	-93.3028
420	11687.481	7196.553	190.209	ES	ES	11.1026	-93.3027
421	11649.227	7206.382	180.586	E	E23	11.1025	-93.3027
422	11682.169	7234.146	192.409	ZD	ZD	11.1026	-93.3026
423	11678.022	7245.923	192.540	ZD	ZD	11.1026	-93.3026
424	11671.347	7250.007	189.072	R	R	11.1026	-93.3026
425	11671.251	7265.449	192.412	R	R	11.1026	-93.3025
426	11671.403	7231.357	187.127	R	R	11.1026	-93.3026
427	11664.076	7222.184	182.778	R	R	11.1025	-93.3027
428	11659.527	7224.282	184.017	R	R	11.1025	-93.3027
429	11668.663	7220.684	183.509	R	R	11.1026	-93.3027
430	11653.469	7203.969	180.775	R	R	11.1025	-93.3027
431	11647.684	7167.022	174.067	R	R	11.1025	-93.3028
432	11629.581	7179.949	175.837	R	R	11.1024	-93.3028
433	11647.529	7141.243	172.097	R	R	11.1025	-93.3029
434	11638.302	7139.999	175.065	ZD	ZD	11.1025	-93.3029
435	11656.573	7109.900	175.262	E24	E24	11.1025	-93.3030
436	11654.712	7145.636	171.924	R	R	11.1025	-93.3029
437	11632.390	7139.297	176.643	FIA	FIA	11.1024	-93.3029
438	11640.917	7125.089	168.760	FIAINT	FIAINT	11.1025	-93.3030
439	11629.282	7120.566	172.078	MFI	MFI	11.1024	-93.3030

**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE
RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN**

Number	Northing	Easting	Elevation	Raw Desc	Full Desc	Latitude	Longitude
440	11617.315	7113.574	175.983	MFI	MFI	11.1024	-93.3030
441	11607.531	7106.507	177.266	MFI	MFI	11.1024	-93.3030
442	11606.434	7121.966	184.738	MFI	MFI	11.1023	-93.3030
443	11634.918	7105.479	165.647	R	R	11.1024	-93.3030
444	11618.732	7078.830	161.721	R	R	11.1024	-93.3031
445	11658.441	7052.792	181.671	E25	E25	11.1025	-93.3032
446	11674.379	7090.200	181.568	ZD	ZD	11.1026	-93.3031
447	11694.708	7087.051	185.459	ZD	ZD	11.1026	-93.3031
448	11709.248	7092.505	189.810	ZD	ZD	11.1027	-93.3031
449	11717.332	7090.015	191.178	G	G	11.1027	-93.3031
450	11717.401	7093.808	191.726	G	G	11.1027	-93.3031
451	11718.990	7100.111	193.176	ZD	ZD	11.1027	-93.3031
452	11725.818	7093.411	190.886	ZD	ZD	11.1027	-93.3031
453	11701.458	7076.319	187.881	ZD	ZD	11.1027	-93.3031
454	11710.995	7052.681	179.539	ZD	ZD	11.1027	-93.3032
455	11725.053	7039.653	180.757	FDA	FDA	11.1027	-93.3033
456	11729.694	7045.314	179.582	FDA	FDA	11.1027	-93.3032
457	11722.852	7029.141	186.367	MFD	MFD	11.1027	-93.3033
458	11694.982	7016.665	186.535	MFD	MFD	11.1026	-93.3033
459	11681.854	7023.125	179.432	FDA	FDA	11.1026	-93.3033
460	11666.303	7017.759	178.760	FDA	FDA	11.1025	-93.3033
461	11648.677	7004.275	177.196	FDA	FDA	11.1025	-93.3034
462	11660.447	7026.667	177.784	ZD	ZD	11.1025	-93.3033
463	11684.984	7035.412	177.882	ZD	ZD	11.1026	-93.3033
464	11620.739	6990.452	175.460	E26	E26	11.1024	-93.3034
465	11667.979	7001.380	181.301	MFD	MFD	11.1025	-93.3034
466	11675.422	6985.954	183.429	CA	CA	11.1026	-93.3034
467	11627.357	7023.480	176.352	G	G	11.1024	-93.3033
468	11607.937	7013.537	174.628	ZD	ZD	11.1023	-93.3033
469	11603.616	7024.441	172.500	ZD	ZD	11.1023	-93.3033
470	11607.574	7005.390	172.413	ZD	ZD	11.1023	-93.3034
471	11594.141	6990.157	167.859	ZD	ZD	11.1023	-93.3034
472	11607.517	6996.811	173.115	G	G	11.1023	-93.3034
473	11606.162	6989.497	171.930	G	G	11.1023	-93.3034
474	11637.025	6985.959	173.108	FDA	FDA	11.1024	-93.3034
475	11624.060	6965.526	169.509	FDA	FDA	11.1024	-93.3035
476	11615.480	6951.101	167.556	FDA	FDA	11.1024	-93.3035
477	11617.533	6945.368	165.684	MFD	MFD	11.1024	-93.3036
478	11631.259	6934.307	166.742	MFD	MFD	11.1024	-93.3036
479	11601.348	6949.936	168.593	G	G	11.1023	-93.3036

**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE
RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN**

Number	Northing	Easting	Elevation	Raw Desc	Full Desc	Latitude	Longitude
480	11597.798	6944.929	167.674	G	G	11.1023	-93.3036
481	11592.220	6937.844	165.967	E27	E27	11.1023	-93.3036
482	11588.100	6954.152	167.052	ZD	ZD	11.1023	-93.3035
483	11603.675	6938.739	165.616	FDA	FDA	11.1023	-93.3036
484	11584.666	6917.879	159.645	FDA	FDA	11.1023	-93.3037
485	11598.000	6907.550	158.107	MFD	MFD	11.1023	-93.3037
486	11570.558	6897.977	155.175	FDA	FDA	11.1022	-93.3037
487	11573.949	6890.260	153.913	MFD	MFD	11.1022	-93.3037
488	11558.386	6917.263	160.439	ZD	ZD	11.1022	-93.3037
489	11555.994	6889.086	153.494	E28	E28	11.1022	-93.3038
490	11550.025	6910.457	156.878	ZD	ZD	11.1022	-93.3037
491	11542.415	6913.038	155.520	ZD	ZD	11.1021	-93.3037
492	11533.066	6897.543	152.299	ZD	ZD	11.1021	-93.3037
493	11520.727	6883.797	148.572	ZD	ZD	11.1021	-93.3038
494	11540.631	6872.338	149.604	FDA	FDA	11.1021	-93.3038
495	11530.580	6865.050	148.899	FDA	FDA	11.1021	-93.3038
496	11523.950	6863.533	149.213	FDA	FDA	11.1021	-93.3038
497	11513.886	6861.381	147.562	FDA	FDA	11.1020	-93.3038
498	11521.427	6856.831	147.411	MFD	MFD	11.1021	-93.3039
499	11533.423	6855.923	145.749	MFD	MFD	11.1021	-93.3039
500	11562.590	6860.520	145.152	MFD	MFD	11.1022	-93.3038
501	11577.427	6863.953	145.620	MFD	MFD	11.1022	-93.3038
502	11578.216	6855.074	144.138	MFD	MFD	11.1022	-93.3039
503	11582.795	6849.539	145.358	MFD	MFD	11.1023	-93.3039
504	11600.140	6833.681	149.021	CA	CA	11.1023	-93.3039
505	11575.328	6826.743	141.252	MFD	MFD	11.1022	-93.3040
506	11557.434	6822.222	140.024	MFD	MFD	11.1022	-93.3040
507	11528.350	6831.528	139.949	MFD	MFD	11.1021	-93.3039
508	11502.138	6837.473	142.615	E29	E29	11.1020	-93.3039
509	11502.057	6856.682	144.748	FDA	FDA	11.1020	-93.3039
510	11490.338	6854.628	141.722	FDA	FDA	11.1020	-93.3039
511	11484.553	6854.401	140.633	FDA	FDA	11.1019	-93.3039
512	11482.153	6861.762	141.013	ZD	ZD	11.1019	-93.3038
513	11476.780	6852.028	137.737	FDA	FDA	11.1019	-93.3039
514	11475.628	6851.095	137.115	MFD	MFD	11.1019	-93.3039
515	11477.259	6834.915	139.543	MFD	MFD	11.1019	-93.3039
516	11479.420	6821.706	138.661	MFD	MFD	11.1019	-93.3040
517	11492.679	6813.615	137.915	MFD	MFD	11.1020	-93.3040
518	11463.938	6787.750	129.641	MFD	MFD	11.1019	-93.3041
519	11448.839	6785.564	126.952	R	R	11.1018	-93.3041

**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE
RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN**

Number	Northing	Easting	Elevation	Raw Desc	Full Desc	Latitude	Longitude
520	11631.887	7274.251	199.700	calle	calle	11.1024	-93.3025
521	11624.987	7281.419	199.712	calle	calle	11.1024	-93.3025
522	11613.614	7255.098	199.559	calle	calle	11.1024	-93.3025
523	11606.001	7261.960	199.560	calle	calle	11.1024	-93.3025
526	11564.052	7173.680	194.928	calle	calle	11.1022	-93.3028
527	11557.837	7182.697	194.928	calle	calle	11.1022	-93.3028
528	11533.563	7113.033	190.166	calle	calle	11.1021	-93.3030
529	11542.071	7109.022	190.166	calle	calle	11.1021	-93.3030
530	11499.705	7089.319	185.403	calle	calle	11.1020	-93.3031
531	11501.755	7099.448	185.403	calle	calle	11.1020	-93.3031
532	11436.473	7076.248	180.641	calle	calle	11.1018	-93.3031
533	11427.957	7083.445	180.641	calle	calle	11.1018	-93.3031
534	11302.733	6984.214	180.641	calle	calle	11.1014	-93.3034
535	11302.648	6997.975	180.641	calle	calle	11.1014	-93.3034
536	11279.022	6908.785	180.641	calle	calle	11.1013	-93.3037
537	11269.761	6907.855	180.641	calle	calle	11.1012	-93.3037
538	11277.320	6839.950	175.879	calle	calle	11.1013	-93.3039
539	11269.095	6843.091	175.879	calle	calle	11.1012	-93.3039
540	11627.152	7321.105	204.453	calle	calle	11.1024	-93.3023
541	11638.341	7321.822	204.453	calle	calle	11.1025	-93.3023
542	11623.559	7367.467	209.215	calle	calle	11.1024	-93.3022
543	11633.120	7367.473	209.215	calle	calle	11.1025	-93.3022
544	11610.138	7411.955	213.978	calle	calle	11.1024	-93.3020
545	11619.563	7414.654	213.978	calle	calle	11.1024	-93.3020
546	11607.639	7477.460	218.740	calle	calle	11.1024	-93.3018
547	11617.500	7477.460	218.740	calle	calle	11.1024	-93.3018
548	11613.263	7574.543	223.503	calle	calle	11.1024	-93.3015
549	11621.270	7578.190	223.503	calle	calle	11.1024	-93.3015
550	11618.007	7632.162	228.265	calle	calle	11.1024	-93.3013
551	11627.759	7631.060	228.265	calle	calle	11.1024	-93.3013
552	11701.631	7290.145	195.008	R	R	11.1027	-93.3024
553	11695.044	7289.163	194.408	R	R	11.1026	-93.3024
554	11700.202	7297.614	197.119	R	R	11.1027	-93.3024
555	11693.513	7296.269	196.519	R	R	11.1026	-93.3024
556	11698.276	7307.192	197.885	R	R	11.1027	-93.3024
557	11690.803	7306.368	197.285	R	R	11.1026	-93.3024
558	11699.010	7311.382	197.283	R	R	11.1027	-93.3024
560	11738.673	7354.419	199.732	R	R	11.1028	-93.3022
561	11733.208	7356.917	199.132	R	R	11.1028	-93.3022
562	11728.331	7368.793	196.899	R	R	11.1028	-93.3022

**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE
RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN**

Number	Northing	Easting	Elevation	Raw Desc	Full Desc	Latitude	Longitude
563	11736.552	7368.279	196.699	R	R	11.1028	-93.3022
564	11735.691	7395.114	199.207	R	R	11.1028	-93.3021
565	11739.951	7393.254	198.707	R	R	11.1028	-93.3021
566	11749.612	7412.679	200.766	R	R	11.1028	-93.3020
567	11752.073	7410.064	200.266	R	R	11.1028	-93.3020
568	11690.160	7312.932	196.983	R	R	11.1026	-93.3024
569	11753.382	7443.672	203.127	R	R	11.1028	-93.3019
570	11770.058	7447.720	203.127	R	R	11.1029	-93.3019
571	11763.445	7455.703	202.627	R	R	11.1029	-93.3019
572	11675.384	7251.176	192.412	R	R	11.1026	-93.3026
573	11673.317	7258.313	191.912	R	R	11.1026	-93.3025
574	11661.864	7254.686	189.072	R	R	11.1025	-93.3026
575	11666.605	7252.347	188.572	R	R	11.1026	-93.3026
576	11659.209	7230.759	187.127	R	R	11.1025	-93.3026
577	11665.306	7231.058	186.627	R	R	11.1025	-93.3026
578	11644.531	7210.123	180.775	R	R	11.1025	-93.3027
579	11649.226	7176.873	175.837	R	R	11.1025	-93.3028
580	11639.404	7178.411	175.587	R	R	11.1025	-93.3028
581	11637.718	7162.401	174.067	R	R	11.1025	-93.3029
582	11642.701	7164.712	173.567	R	R	11.1025	-93.3028
583	11651.120	7143.439	171.597	R	R	11.1025	-93.3029
585	11637.049	7104.455	165.147	R	R	11.1024	-93.3030
586	11639.180	7103.431	165.647	R	R	11.1025	-93.3030
587	11627.711	7075.535	161.721	R	R	11.1024	-93.3031
588	11623.221	7077.182	161.221	R	R	11.1024	-93.3031
589	11641.691	7124.686	168.300	R	R	11.1025	-93.3030
590	11648.065	7122.828	168.300	R	R	11.1025	-93.3030
591	11644.878	7123.757	167.868	R	R	11.1025	-93.3030
592	11555.015	7006.918	151.721	R	R	11.1022	-93.3034
593	11532.608	7010.552	151.721	R	R	11.1021	-93.3033
594	11532.081	6912.961	141.721	R	R	11.1021	-93.3037
596	11459.615	6873.025	131.721	R	R	11.1019	-93.3038
597	11432.477	6859.740	131.721	R	R	11.1018	-93.3038
598	11413.228	6788.313	121.721	R	R	11.1017	-93.3041
599	11430.861	6781.208	121.721	R	R	11.1018	-93.3041
600	11506.362	6920.957	141.721	R	R	11.1020	-93.3036
601	11543.812	7008.735	151.171	R	R	11.1021	-93.3034
602	11519.222	6916.959	141.251	R	R	11.1021	-93.3037
603	11446.046	6866.382	131.181	R	R	11.1018	-93.3038
604	11422.044	6784.761	121.211	R	R	11.1017	-93.3041

**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE
RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN**

Number	Northing	Easting	Elevation	Raw Desc	Full Desc	Latitude	Longitude
605	11671.772	7249.102	192.540	ZD	ZD	11.1026	-93.3026
606	11672.075	7230.617	192.127	ZD	ZD	11.1026	-93.3026
607	11669.807	7220.181	188.509	ZD	ZD	11.1026	-93.3027
608	11655.108	7204.315	185.775	ZD	ZD	11.1025	-93.3027
609	11648.887	7168.307	179.067	ZD	ZD	11.1025	-93.3028
610	11655.591	7147.306	176.924	ZD	ZD	11.1025	-93.3029
611	11650.740	7178.180	182.335	ZD	ZD	11.1025	-93.3028
612	12062.679	7200.487	225.268	R	R	11.1038	-93.3028
613	12062.209	7202.011	223.768	R	R	11.1038	-93.3028
614	12058.583	7199.223	223.988	R	R	11.1038	-93.3028
615	12058.182	7200.522	222.488	R	R	11.1038	-93.3028
616	12048.391	7200.052	222.777	R	R	11.1038	-93.3028
617	12048.530	7201.540	221.277	R	R	11.1038	-93.3028
618	12043.539	7200.506	222.048	R	R	11.1038	-93.3028
619	12043.193	7201.754	220.548	R	R	11.1038	-93.3028
620	12039.968	7199.003	221.163	R	R	11.1038	-93.3028
621	12039.568	7199.954	219.663	R	R	11.1038	-93.3028
622	12033.095	7198.260	219.876	R	R	11.1037	-93.3028
623	12033.056	7199.118	218.376	R	R	11.1037	-93.3028
624	12015.851	7197.183	218.140	R	R	11.1037	-93.3028
625	12015.976	7198.193	216.640	R	R	11.1037	-93.3028
626	12011.519	7198.797	217.163	R	R	11.1037	-93.3028
627	12011.947	7199.856	215.663	R	R	11.1037	-93.3028
628	11986.448	7210.136	213.935	R	R	11.1036	-93.3027
629	11989.084	7214.680	213.435	R	R	11.1036	-93.3027
630	11977.907	7218.412	213.034	R	R	11.1036	-93.3027
631	11982.761	7222.619	211.534	R	R	11.1036	-93.3027
632	11968.353	7229.549	210.479	R	R	11.1035	-93.3027
633	11957.805	7231.690	210.687	R	R	11.1035	-93.3026
634	11958.065	7232.395	209.187	R	R	11.1035	-93.3026
635	11953.734	7236.591	209.707	R	R	11.1035	-93.3026
636	11952.723	7235.262	208.876	R	R	11.1035	-93.3026
637	11942.051	7246.238	209.069	R	R	11.1034	-93.3026
638	11941.497	7245.190	207.569	R	R	11.1034	-93.3026
639	11937.638	7248.570	208.640	R	R	11.1034	-93.3026
640	11936.942	7247.255	207.140	R	R	11.1034	-93.3026
641	11866.029	7254.546	204.807	R	R	11.1032	-93.3026
642	11872.434	7264.284	204.807	R	R	11.1032	-93.3025
643	11869.231	7259.415	203.307	R	R	11.1032	-93.3026
644	12094.795	7223.431	227.357	R	R	11.1039	-93.3027

**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE
RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN**

Number	Northing	Easting	Elevation	Raw Desc	Full Desc	Latitude	Longitude
645	12095.196	7214.995	227.357	R	R	11.1039	-93.3027
646	12094.995	7219.213	225.857	R	R	11.1039	-93.3027
647	12110.362	7235.418	237.357	R	R	11.1040	-93.3026
648	12116.111	7228.941	237.357	R	R	11.1040	-93.3027
649	12125.581	7248.566	247.357	R	R	11.1040	-93.3026
650	12131.122	7241.852	247.357	R	R	11.1041	-93.3026
651	12150.241	7269.514	257.357	R	R	11.1041	-93.3025
652	12153.853	7264.109	257.357	R	R	11.1041	-93.3026
653	12184.162	7309.601	267.357	R	R	11.1042	-93.3024
654	12189.928	7304.057	267.357	R	R	11.1043	-93.3024
655	12214.773	7349.399	277.357	R	R	11.1043	-93.3023
656	12229.391	7350.942	277.357	R	R	11.1044	-93.3023
657	12113.237	7232.179	235.432	R	R	11.1040	-93.3027
658	12128.351	7245.209	245.987	R	R	11.1041	-93.3026
659	12152.047	7266.811	255.003	R	R	11.1041	-93.3025
660	12187.045	7306.829	265.857	R	R	11.1042	-93.3024
661	12222.082	7350.170	275.543	R	R	11.1044	-93.3023
662	11933.662	7208.075	213.047	ZD	ZD	11.1034	-93.3027
663	11930.860	7204.858	213.525	ZD	ZD	11.1034	-93.3027
664	11926.577	7201.922	214.397	ZD	ZD	11.1034	-93.3027
665	11924.405	7202.942	214.177	ZD	ZD	11.1034	-93.3027
666	11937.069	7229.804	212.916	ZD	ZD	11.1034	-93.3027
667	11932.310	7234.310	212.386	ZD	ZD	11.1034	-93.3026
668	11733.060	7261.202	194.073	ZD	ZD	11.1028	-93.3025
669	11744.845	7297.144	197.724	ZD	ZD	11.1028	-93.3024
670	11707.852	7295.774	199.903	ZD	ZD	11.1027	-93.3024
671	11870.778	7331.921	205.913	ZD	ZD	11.1032	-93.3023
672	11850.080	7351.293	206.373	ZD	ZD	11.1032	-93.3022
673	11848.034	7362.316	207.345	ZD	ZD	11.1031	-93.3022
674	11826.647	7362.968	204.885	ZD	ZD	11.1031	-93.3022
675	11869.162	7094.264	229.165	MFD	MFD	11.1032	-93.3031
676	11859.966	7071.491	229.163	MFD	MFD	11.1032	-93.3032
677	11888.927	7076.550	229.160	MFD	MFD	11.1033	-93.3032
678	11865.383	7115.510	219.163	MFD	MFD	11.1032	-93.3030
679	11842.149	7099.960	219.167	MFD	MFD	11.1031	-93.3031
680	11831.405	7065.244	219.168	MFD	MFD	11.1031	-93.3032
681	11858.108	7044.597	219.170	MFD	MFD	11.1032	-93.3033
682	12019.547	7270.772	233.975	ZD	ZD	11.1037	-93.3025
683	12000.214	7291.676	238.998	ZD	ZD	11.1036	-93.3025
684	12036.708	7257.736	233.975	ZD	ZD	11.1038	-93.3026

**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE
RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN**

Number	Northing	Easting	Elevation	Raw Desc	Full Desc	Latitude	Longitude
685	11893.831	7205.995	214.807	ZD	ZD	11.1033	-93.3027
686	11904.149	7228.685	214.807	ZD	ZD	11.1033	-93.3027
687	11864.630	7204.469	207.482	ZD	ZD	11.1032	-93.3027
688	11838.089	7196.791	205.079	ZD	ZD	11.1031	-93.3028
689	11731.240	7228.677	192.445	ZD	ZD	11.1028	-93.3026
690	11700.646	7249.217	193.123	ZD	ZD	11.1027	-93.3026
691	11715.943	7238.947	192.784	ZD	ZD	11.1027	-93.3026
692	11585.243	7147.823	189.833	MFI	MFI	11.1023	-93.3029
693	11574.801	7107.764	183.716	MFI	MFI	11.1022	-93.3030
694	11605.605	7195.894	193.692	MFI	MFI	11.1024	-93.3027
695	11516.156	7049.936	168.562	MFI	MFI	11.1021	-93.3032
696	11545.479	7078.850	176.139	MFI	MFI	11.1021	-93.3031
697	11895.390	7327.798	206.255	ZD	ZD	11.1033	-93.3023
698	11896.218	7293.980	205.702	ZD	ZD	11.1033	-93.3024
699	11920.908	7291.080	207.797	ZD	ZD	11.1034	-93.3024
700	11781.090	7280.792	197.105	calle	calle	11.1029	-93.3025
701	11787.316	7274.125	197.105	calle	calle	11.1029	-93.3025
702	11740.224	6962.014	176.367	calle	calle	11.1028	-93.3035
703	11749.125	6959.444	176.367	calle	calle	11.1028	-93.3035
704	11726.889	6905.005	166.436	calle	calle	11.1027	-93.3037
705	11736.020	6903.075	166.436	calle	calle	11.1028	-93.3037
706	11726.924	6812.820	156.367	calle	calle	11.1027	-93.3040
707	11719.705	6821.551	156.367	calle	calle	11.1027	-93.3040
708	11688.940	6752.977	146.876	calle	calle	11.1026	-93.3042
709	11683.616	6760.861	146.876	calle	calle	11.1026	-93.3042
710	11669.541	7267.272	200.765	ZD	ZD	11.1026	-93.3025
711	11660.549	7257.101	196.876	ZD	ZD	11.1025	-93.3025
712	11596.148	7273.270	196.560	MFI	MFI	11.1023	-93.3025
713	11546.068	7191.997	189.928	MFI	MFI	11.1022	-93.3028
714	11571.108	7232.633	193.244	MFI	MFI	11.1022	-93.3026
715	11589.008	7249.275	196.402	MFI	MFI	11.1023	-93.3026
716	11751.085	7045.652	186.740	MFD	MFD	11.1028	-93.3032
717	11789.297	7026.189	188.384	calle	calle	11.1029	-93.3033
718	11790.001	7016.775	188.384	calle	calle	11.1029	-93.3033
719	11822.677	7010.103	198.387	calle	calle	11.1030	-93.3034
720	11823.478	7002.578	198.387	calle	calle	11.1030	-93.3034
721	11872.285	7032.318	208.375	calle	calle	11.1032	-93.3033
722	11884.501	7040.250	208.375	calle	calle	11.1032	-93.3033
723	11995.300	7093.652	218.432	calle	calle	11.1036	-93.3031
724	11997.333	7104.744	218.432	calle	calle	11.1036	-93.3031

**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE
RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN**

Number	Northing	Easting	Elevation	Raw Desc	Full Desc	Latitude	Longitude
725	11789.451	7026.386	191.484	MFD	MFD	11.1029	-93.3033
726	11822.677	7010.353	201.387	MFD	MFD	11.1030	-93.3034
727	11872.099	7032.486	211.075	MFD	MFD	11.1032	-93.3033
728	11997.187	7104.946	219.332	MFD	MFD	11.1036	-93.3031
729	11995.422	7093.434	219.092	MFD	MFD	11.1036	-93.3031
730	11884.726	7040.140	210.475	MFD	MFD	11.1032	-93.3033
731	11823.534	7002.334	200.287	MFD	MFD	11.1030	-93.3034
732	11790.047	7016.529	190.164	MFD	MFD	11.1029	-93.3033
733	11749.953	7039.635	185.840	MFD	MFD	11.1028	-93.3033
734	12130.906	7303.567	271.979	ZC	ZC	11.1041	-93.3024
735	12099.251	7282.391	258.944	ZC	ZC	11.1040	-93.3025
736	12080.676	7250.893	241.586	ZC	ZC	11.1039	-93.3026
737	11979.924	7173.633	216.721	MFD	MFD	11.1036	-93.3028
738	11946.160	7149.023	220.164	MFD	MFD	11.1035	-93.3029
739	11984.431	7136.008	217.567	MFD	MFD	11.1036	-93.3030
742	11786.880	7064.189	194.851	MFD	MFD	11.1029	-93.3032
743	11801.561	7501.440	205.467	MFI	MFI	11.1030	-93.3017
744	11821.148	7509.673	210.710	MFI	MFI	11.1031	-93.3017
745	11851.152	7520.312	215.310	MFI	MFI	11.1032	-93.3017
746	11861.498	7522.957	219.923	MFI	MFI	11.1032	-93.3017
747	11877.368	7526.339	220.616	MFI	MFI	11.1033	-93.3017
748	11892.781	7528.496	224.516	MFI	MFI	11.1033	-93.3017
749	11920.196	7532.820	228.891	MFI	MFI	11.1034	-93.3017
750	11920.396	7487.810	229.634	MFI	MFI	11.1034	-93.3018
751	11899.407	7483.586	225.259	MFI	MFI	11.1033	-93.3018
752	11884.429	7478.482	221.389	MFI	MFI	11.1033	-93.3018
753	11870.901	7477.701	220.601	MFI	MFI	11.1032	-93.3018
754	11861.050	7472.674	216.159	MFI	MFI	11.1032	-93.3018
755	11840.833	7465.308	211.457	MFI	MFI	11.1031	-93.3019
756	11815.683	7460.982	206.217	MFI	MFI	11.1031	-93.3019
757	11801.236	7502.372	204.467	R	R	11.1030	-93.3017
758	11820.919	7510.189	208.840	R	R	11.1031	-93.3017
759	11850.898	7521.536	212.753	R	R	11.1032	-93.3017
760	11861.342	7523.706	217.167	R	R	11.1032	-93.3017
761	11877.273	7526.986	218.291	R	R	11.1033	-93.3017
762	11892.669	7529.258	221.301	R	R	11.1033	-93.3017
763	11920.196	7533.320	224.633	R	R	11.1034	-93.3017
764	11797.492	7514.338	204.467	R	R	11.1030	-93.3017
765	11799.364	7508.355	203.717	R	R	11.1030	-93.3017
766	11817.649	7520.643	208.840	R	R	11.1031	-93.3017

**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE
RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN**

Number	Northing	Easting	Elevation	Raw Desc	Full Desc	Latitude	Longitude
767	11819.284	7515.416	208.290	R	R	11.1031	-93.3017
768	11844.868	7532.641	212.753	R	R	11.1031	-93.3016
769	11847.883	7527.089	212.102	R	R	11.1032	-93.3017
770	11853.843	7537.515	217.167	R	R	11.1032	-93.3016
771	11857.593	7530.611	216.419	R	R	11.1032	-93.3017
772	11875.948	7541.922	218.291	R	R	11.1033	-93.3016
773	11876.610	7534.454	217.813	R	R	11.1033	-93.3016
774	11891.423	7543.295	221.301	R	R	11.1033	-93.3016
775	11892.046	7536.276	220.704	R	R	11.1033	-93.3016
776	11916.814	7546.810	224.633	R	R	11.1034	-93.3016
777	11918.505	7540.065	223.875	R	R	11.1034	-93.3016
778	11797.297	7514.962	205.467	MFI	MFI	11.1030	-93.3017
779	11817.454	7521.268	210.687	MFI	MFI	11.1031	-93.3017
780	11844.503	7533.313	215.003	MFI	MFI	11.1031	-93.3016
781	11853.425	7538.285	219.876	MFI	MFI	11.1032	-93.3016
782	11875.860	7542.905	220.765	MFI	MFI	11.1033	-93.3016
783	11891.313	7544.540	224.765	MFI	MFI	11.1033	-93.3016
784	11916.680	7547.342	228.654	MFI	MFI	11.1034	-93.3016
785	12139.213	7438.697	275.540	CHC	CHC	11.1041	-93.3020
786	12106.216	7378.283	279.163	ZC	ZC	11.1040	-93.3022
787	12121.934	7367.697	281.324	ZC	ZC	11.1040	-93.3022
788	12112.583	7487.384	270.222	ZC	ZC	11.1040	-93.3018
789	12083.254	7445.005	278.217	ZC	ZC	11.1039	-93.3020
790	12077.261	7462.071	276.302	ZC	ZC	11.1039	-93.3019
791	12070.408	7463.434	276.006	ZC	ZC	11.1039	-93.3019

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN

Simbología utilizada en la base de puntos	
Símbolo	Descripción
CA	Casas
calle	Calle
CAU	Cauces
CHC	Cancha
CP	Calle Principal
DB	Desnivel de Vereda
E....	Estaciones
EP	Escarpe Principal
ER	Ermita
ES	Escarpe Secundario
FDA	Flanco Derecho Arriba
FDAB	Flanco Derecho Abajo
FIA	Flanco Izquierdo Arriba
FIAB	Flanco Izquierdo Abajo
FIAINT	Intersección Flanco Izquierdo con Quebrada
G	Grietas
L	Laguna
MFD	Más Allá del Flanco Derecho
MFI	Más Allá del Flanco Izquierdo
MURO	Muro a la par del puente
NA	Nacimiento de Agua
P	Puente
PS	Postes
R	Quebradas
ZC	Zona de Corona
ZCU	Zona de Cultivo
ZD	Zona del Deslizamiento
ZG	Zona de Grietas

Estudio geotécnico

<i>Sondeos Eléctricos verticales</i>	2
<i>Muestras Alteradas</i>	7
<i>Muestras inalteradas</i>	6

Coordenadas de sondeos			
<i>Sondeos eléctricos</i>	<i>Coordenada Este (m)</i>	<i>Coordenada Norte (m)</i>	<i>Elevación (m)</i>
S-1	600,830.00	291,037.00	498.00
S-2	600,955.00	291,203.00	513.00
<i>Sondeos alterados</i>	<i>Coordenada Este (m)</i>	<i>Coordenada Norte (m)</i>	<i>Elevación (m)</i>
S-1	600,398.00	290,810.00	432.00
S-2	600,551.00	290,941.00	455.00
S-3	600,593.00	290,978.00	501.00
S-4	600,573.00	291,032.00	491.00
S-5	600,832.00	290,900.00	495.00
S-6	600,833.00	291,173.00	520.00
S-7	601,059.00	291,409.00	560.00
<i>Sondeos Inalterados</i>	<i>Coordenada Este (m)</i>	<i>Coordenada Norte (m)</i>	<i>Elevación (m)</i>
S-1	600,398.00	290,810.00	432.00
S-2	600,551.00	290,941.00	455.00
S-3	600,593.00	290,978.00	501.00
S-4	600,573.00	291,032.00	491.00
S-5	600,832.00	290,900.00	495.00
S-6	600,833.00	291,173.00	520.00

Perfil estratigráfico SEV 1			
<i>Número de capa</i>	<i>Resistividad ($\Omega.m.$)</i>	<i>Espesor (m.)</i>	<i>Litología</i>
1	14.49	0.75	arcilla limosa
2	25.75	1.89	limo
3	15.59	3.2	arcilla limosa
4	11.08	∞	arcilla saturada

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN

Perfil estratigráfico SEV 2			
<i>Número de capa</i>	<i>Resistividad (Ω.m.)</i>	<i>Espesor (m.)</i>	<i>Litología</i>
1	21.64	0.77	arcilla limosa
2	22.59	0.42	limos
3	9.89	3.54	arcilla saturada
4	30.58	9.71	limos
5	3.44	∞	arcilla saturada

<i>Ensayos de laboratorio</i>	<i>Norma</i>	<i>Tipo de muestra</i>
Descripción visual - manual	ASTM D 2488	Alterada
Contenido de humedad	ASTM D 2216	Alterada
Granulometría	ASTM D 422	Alterada
Límites de Atterberg	ASTM D 4318	Alterada
Gravedad Específica	ASTM D 854	Inalterada
Compresión Triaxial	ASTM D 2850	Inalterada
Corte Directo	ASTM D 3080	Inalterada

Resultados de Contenido de Humedad			
<i>sondeo</i>	<i>Agua (gr.)</i>	<i>Suelo seco (gr.)</i>	<i>Contenido de Humedad</i>
1	5	40	12.50%
2	5	35	14.29%
3	5	45	11.11%
4	10	35	28.57%
5	10	40	25.00%
6	15	40	37.50%
7	10	40	25.00%

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN

Resultados Descripción Visual - Manual		
<i>Sondeo</i>	<i>descripción</i>	<i>Clasificación</i>
1	Presencia de gravas, suelo en estado seco mal drenado con presencia de hierro hidratado.	CH
2	Presencia de gravas duras, suelo en estado seco con alto contenido de orgánicos.	MH/CH
3	Material fino en estado seco con bajo contenido de óxidos de hierro.	CH
4	Presencia de gravas frágiles, suelo en estado seco con contenido de óxidos de hierro.	CH
5	Material fino, suelo en estado húmedo con alto contenido de materia orgánica.	MH
6	Presencia de partículas frágiles de la forma de chispa, piedra volcánica, suelo en estado húmedo con bajo contenido de óxidos de hierro.	CH
7	Presencia de cantos rodados, material fino en estado húmedo con alto contenido de materia orgánica.	CL/CH

Resultados límites de Atterberg				
<i>Sondeo</i>	<i>Límite líquido (%)</i>	<i>Límite plástico (%)</i>	<i>Índice de plasticidad (%)</i>	<i>Clasificación</i>
1	46.66	21.29	25.37	CL
2	41.96	13.76	28.19	CL
3	39.67	22.23	17.44	CL
4	42.53	19.4	23.14	CL
5	47.83	14.56	33.27	CL
6	49.25	36.71	12.54	ML
7	75.06	47.71	27.34	MH

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN

Resultados Granulometría							
<i>Sondeo</i>	<i>Coficiente De Uniformidad</i>	<i>Coficiente De Curvatura</i>	<i>Separación de gravas y arenas con malla Nº 4</i>		<i>Lavado de material fino malla Nº 200</i>	<i>Curva de gravas</i>	<i>Curva de arenas</i>
			<i>% retenido malla Nº4</i>	<i>% que pasó malla Nº 4</i>	<i>% finos total</i>		
1	No se puede obtener	No se puede obtener	15.69%	84.31%	64.94%	mal graduado	discontinua
2	No se puede obtener	No se puede obtener	19.43%	80.57%	74.86%	mal graduado	discontinua
3	No se puede obtener	No se puede obtener	16.05%	83.96%	80.34%	mal graduado	discontinua
4	No se puede obtener	No se puede obtener	21.80%	78.20%	78.14%	mal graduado	discontinua
5	No se puede obtener	No se puede obtener	18.67%	81.33%	75.47%	mal graduado	discontinua
6	No se puede obtener	No se puede obtener	16.17%	83.83%	69.96%	mal graduado	discontinua
7	No se puede obtener	No se puede obtener	27.92%	72.08%	91.28%	mal graduado	bien graduado

Resultados de Gravedad Específica			
<i>Sondeo</i>	<i>Muestra 1</i>	<i>Muestra 2</i>	<i>Promedio</i>
S-1	2.793	2.786	2.79
S-2	2.5	2.476	2.488
S-3	2.754	2.74	2.747
S-4	2.765	2.745	2.755
S-5	2.499	2.433	2.466
S-6	2.669	2.64	2.654

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN

Relaciones gravimétricas y volumétricas							
<i>Sondeo</i>	<i>Relación de vacíos (e)</i>	<i>Porosidad (n%)</i>	<i>Grado de saturación (S%)</i>	<i>Contenido de humedad (ω)</i>	<i>Peso volumétrico (γ)</i>	<i>Peso volumétrico seco (γ_d)</i>	<i>Peso volumétrico saturado (γ_{sat})</i>
1	1.754	63.687	83.753	42.153	1.648	1.16	1.65
2	1.029	50.717	91.73	34	1.733	1.293	1.733
3	1.438	58.977	80.56	33.217	1.716	1.287	1.717
4	1.925	65.812	79.16	41.18	1.598	1.13	1.6
5	0.981	49.523	92.787	33.633	1.74	1.3	1.74
6	1.409	58.484	87.077	38.627	1.687	1.217	1.687

Resultados Compresión Triaxial			
<i>Sondeo</i>	<i>Cohesión (kp/cm^2)</i>	<i>Angulo (ϕ)</i>	<i>Clasificación</i>
1	0.23	7.49	CL
2	0.12	11.54	CL
3	0.18	9.8	CL
4	0.34	12.09	CL
5	0.14	10.39	CL
6	0.11	6.38	ML

Resultados Corte Directo					
<i>Sondeo</i>	<i>Ángulo de rozamiento (ϕ)</i>	<i>Cohesión (kg/cm^2)</i>	<i>Corregida</i>		<i>Clasificación</i>
			<i>Ángulo de rozamiento (ϕ)</i>	<i>Cohesión (kg/cm^2)</i>	
1	27.18	0.48	29.57	0.53	CL
2	33.65	0.13	39.68	0.09	CL
3	48.96	0.06	51.64	0.07	CL
4	23.84	0.6	27.1	0.76	CL
5	26.99	0.2	29.11	0.22	CL
6	29.03	0.2	31.22	0.23	ML

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN

PROMEDIO DE RESULTADOS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO		
Propiedad física del suelo	Adentro de la zona del movimiento	Afuera de la zona del movimiento
<i>Contenido de humedad en estado seco (%)</i>	20.97%	22.77%
<i>Material retenido en malla 4 (%)</i>	17.22%	21.02%
<i>Material que pasa la malla 4 (%)</i>	82.79%	78.98%
<i>Material de finos que pasan la malla 200 (%)</i>	75.05%	77.46%
<i>Límite líquido (%)</i>	43.63	53.02
<i>Límite plástico (%)</i>	24.23	25.74
<i>Índice de plasticidad (%)</i>	19.39	27.28
<i>Gravedad específica</i>	2.57	2.00
<i>Relación de vacíos</i>	1.29	1.55
<i>Porosidad (%)</i>	56.06	59.67
<i>Grado de saturación (%)</i>	86.46	85.23
<i>Contenido de Humedad en estado saturado (%)</i>	35.28	38.99
<i>Peso volumétrico (g/cm³)</i>	1.71	1.66
<i>Peso volumétrico seco (g/cm³)</i>	1.27	1.20
<i>Peso volumétrico saturado (g/cm³)</i>	1.71	1.66

PROMEDIO DE RESULTADOS PROPIEDADES MECANICAS DEL SUELO		
Compresión Triaxial	<i>Cohesión</i>	<i>Angulo de Fricción interna (Φ)</i>
Adentro de la zona del movimiento	0.14	9.24
Afuera de la zona del movimiento	0.24	9.99
Corte Directo	<i>Cohesión</i>	<i>Angulo de Fricción interna (Φ)</i>
Adentro de la zona del movimiento	0.13	40.85
Afuera de la zona del movimiento	0.50	28.59

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERA Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZÁN

Formaciones Geológicas		
<i>Formación</i>	<i>Miembro</i>	<i>Contenido</i>
Morazán	m2'a	rocas efusivas intermedias hasta intermedias-ácidas y piroclásticas subordinadas, en parte silicificadas, con metamorfismo de contacto o con alteración hidrotermal
Cuscatlán	c2	Rocas volcánicas efusivas de tipo ácido y ácido-intermedio, de ocurrencia aislada.
Chalatenango	ch1	Rocas piroclásticas ácidas, epiclastitas volcánicas, ignimbritas y rocas efusivas intercaladas, localmente silicificadas.

Estudio hidrológico

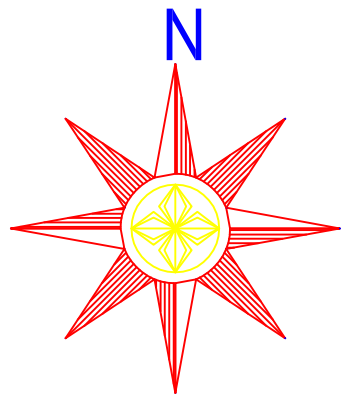
MICRO CUENCA: QUEBRADA GUALINDO

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CUENCA							
Área (Km ²)	Longitud perimetral de la cuenca (Km)	Longitud del cauce principal (Km)	Densidad de drenaje (Km/Km ²)	Modelo de drenaje	Desnivel (m.s.n.m)	Elevación Media (m.s.n.m)	Pendiente Media (%)
2.01	6.50	1.69	3.16	Detrítico	460	685.74	38.9

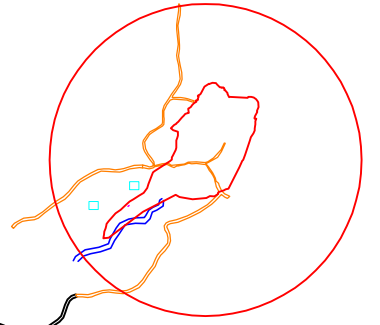
CARACTERÍSTICAS DE COMPARACIÓN DE LA CUENCA	
Coefficiente de compacidad	Factor de forma
1.28	0.55

DETERMINACION DE CUADAL MAXIMO				
Tiempo de concentración (Minutos)	Intensidad de diseño (mm/min)		Tipo de Suelo según mapa geológico	Coefficiente de Escorrentía
	25 años	50 años		
9.2	3.58	3.91	m2a : lavas daciticas	0.49

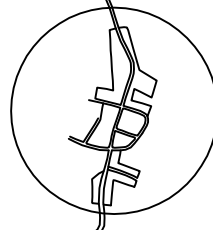
Caudal (m ³ /seg)	
25 años	50 años
58.77	64.18



ZONA EN ESTUDIO

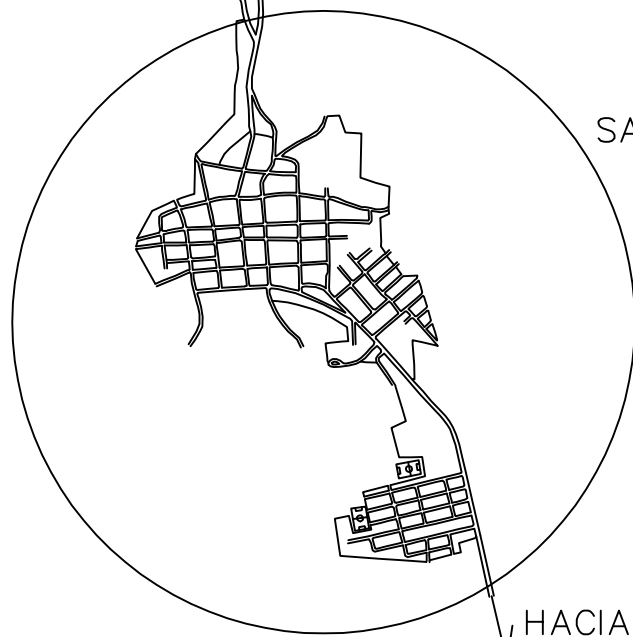


HACIA CACAOPERA



LOLOTIQUILLO

HACIA PERQUIN



SAN FRANCISCO GOTERA

HACIA SAN MIGUEL

ANEXO 57

ESQUEMA DE UBICACION—SIN ESCALA



FECHA:
NOVIEMBRE 2011

PROYECTO:
IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERAS

UBICACION:
CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZAN

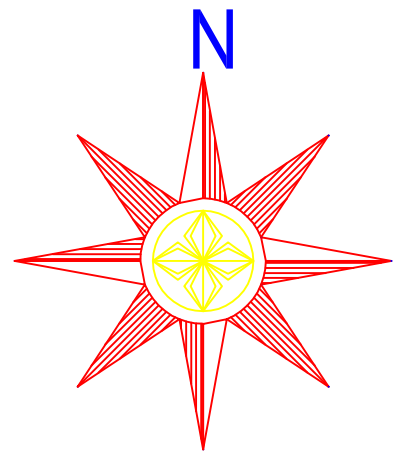
CONTENIDO:
ESQUEMA DE UBICACION

DOCENTE DIRECTOR:
ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO

PRESENTA:
BR. HUGO ORLANDO AMAYA CAÑAS
BR. JOSE OSCAR CISNEROS MEJIA
BR. CARLOS FERNANDO JIMENEZ CHAVEZ

HOJA: 1/10

ESCALA:
INDICADAS



292,000 N

291,500 N

291,000 N

290,500 N

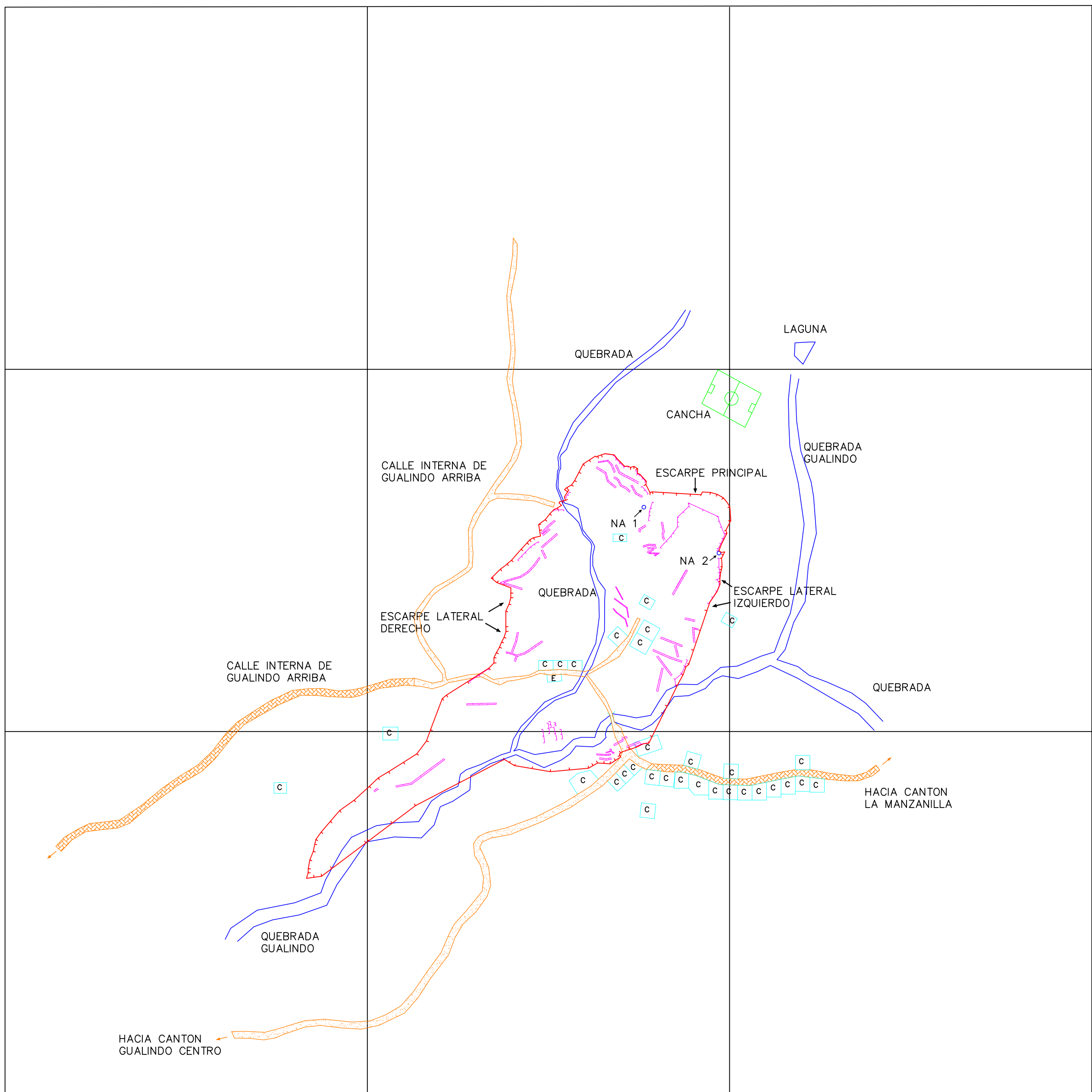
600,000 E

600,500 E

601,000 E

601,500 E

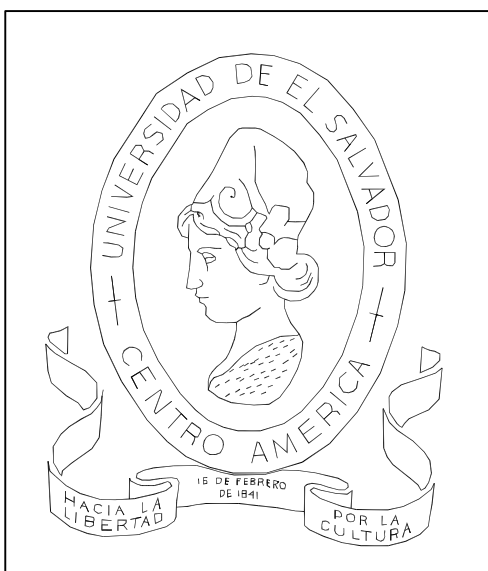
CUADRO DE SIMBOLOGIA	
CLAVE	DESCRIPCION
C	CASA
	CALLE DE CONCRETO O EMPEDRADO
	CALLE DE TIERRA
E	ERMITA CATOLICA
	ESCARPES LATERALES Y PRINCIPAL
	ESCARPES SECUNDARIOS
	GRIETAS
	NA: NACIMIENTO DE AGUA
	PUENTE



AREA INESTABLE =123,521.673 m²
 =12.352 Ha
 =17.646 Mz

ESCALA
1: 4500

ANEXO 58



FECHA:
NOVIEMBRE 2011

PROYECTO:
IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERAS

UBICACION:
CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZAN

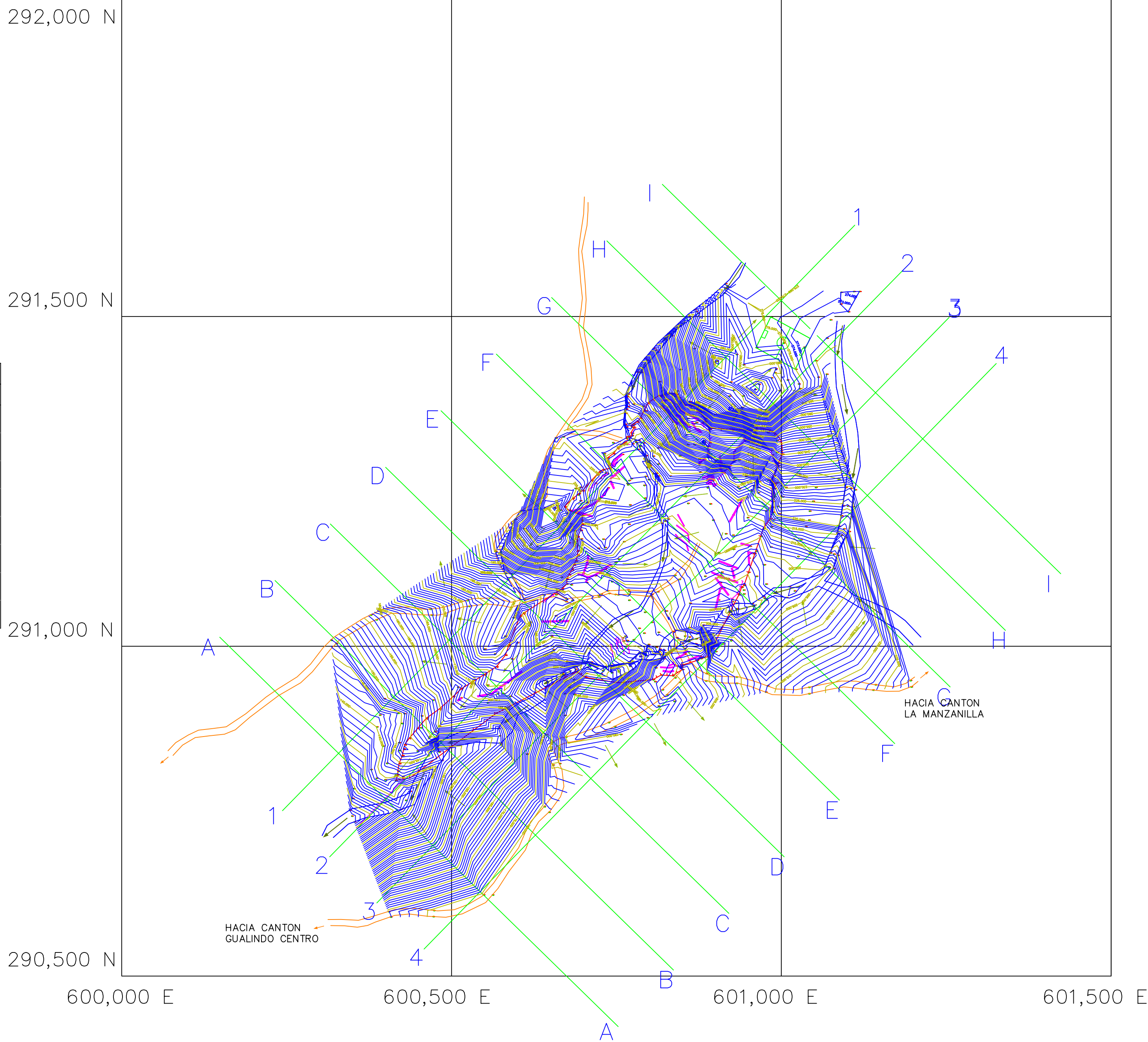
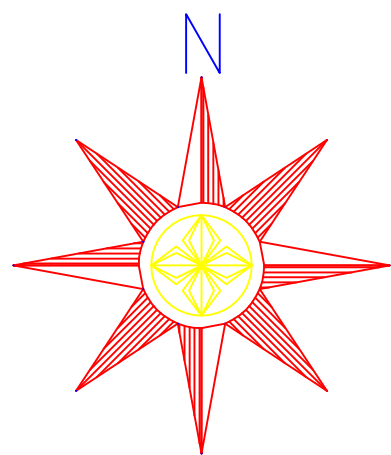
CONTENIDO:
PLANIMETRIA Y OTROS
DETALLES

DOCENTE DIRECTOR:
ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO

PRESENTA:
BR. HUGO ORLANDO AMAYA CAÑAS
BR. JOSE OSCAR CISNEROS MEJIA
BR. CARLOS FERNANDO JIMENEZ CHAVEZ

HOJA: 2/11

ESCALA:
INDICADAS



CUADRO DE SIMBOLOGIA	
CLAVE	DESCRIPCION
	ESCARPES LATERALES Y PRINCIPAL
	ESCARPES SECUNDARIOS
	GRIETAS
	NA: NACIMIENTO DE AGUA
	PUENTE
	"N-N": PERFIL "NUMERO-NUMERO" O PERFIL "LETRA-LETRA"
	DIRECCION DEL CAUCE NATURAL
	DIRECCION DE ESCORRENTIA SUPERFI.

ANEXO 59

ESCALA
1 4,500



FECHA:
NOVIEMBRE 2011

PROYECTO:
IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERAS

UBICACION:
CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZAN

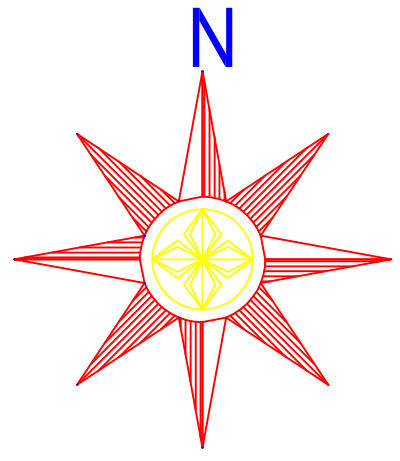
CONTENIDO:
CURVAS DE NIVEL A 1 Y 5
MTS Y PATRON DE DRENAJE
DE LA LADERA

DOCENTE DIRECTOR:
ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO

PRESENTA:
BR. HUGO ORLANDO AMAYA CAÑAS
BR. JOSE OSCAR CISNEROS MEJIA
BR. CARLOS FERNANDO JIMENEZ CHAVEZ

HOJA: 3/11

ESCALA:
INDICADAS



292,000 N

291,500 N

291,000 N

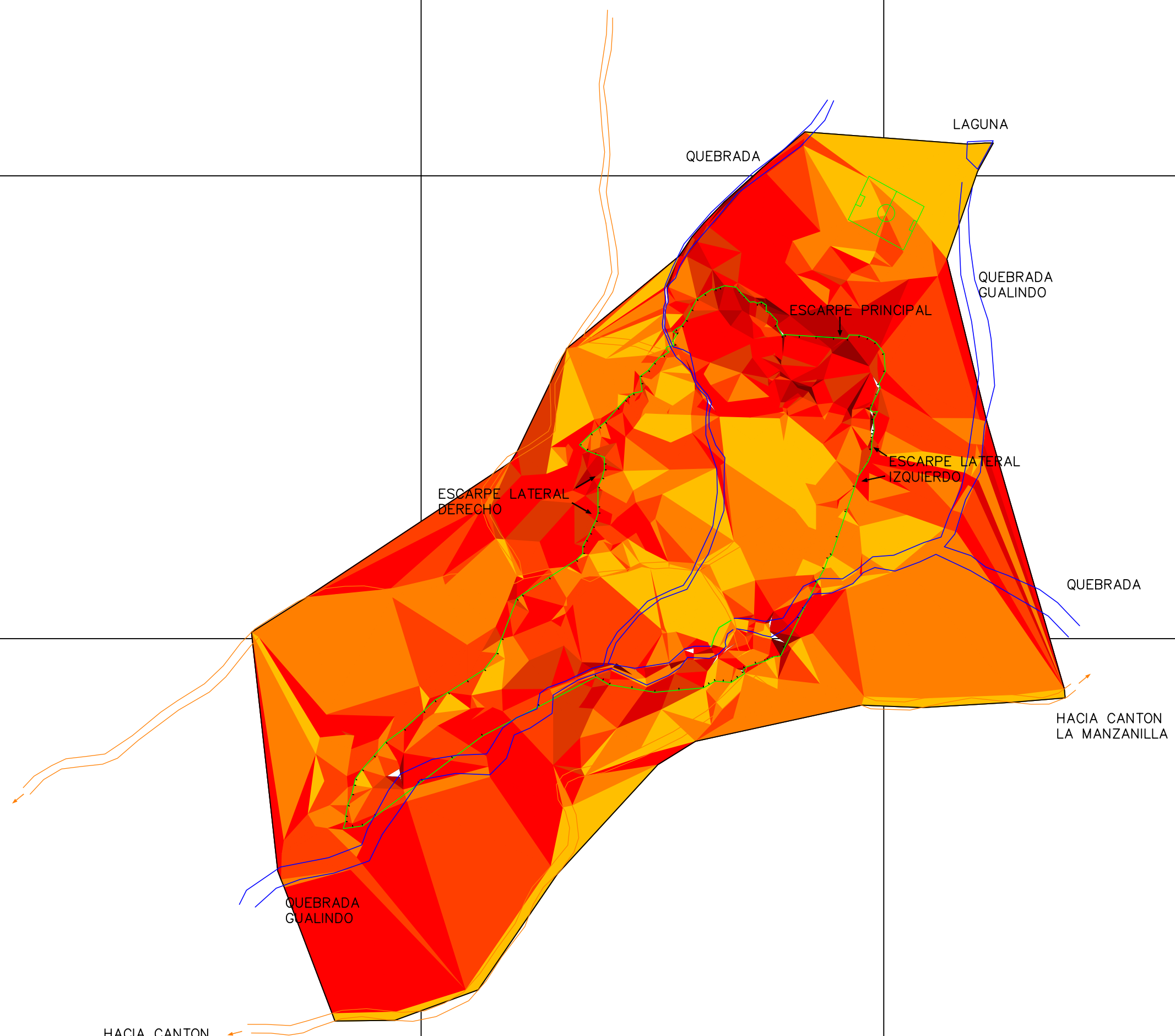
290,500 N

600,000 E

600,500 E

601,000 E

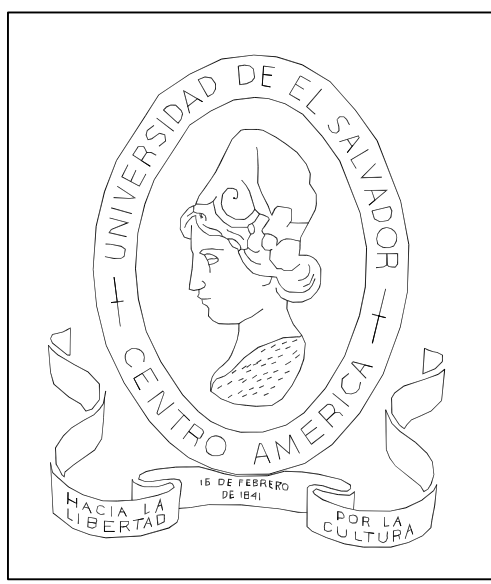
601,500 E



ANEXO 60

Rango de Pendientes				
Color	Rango Inicio	Rango Final	Porcentaje (%)	Area (m2)
■	0.00	10.00	15.6	67030.92
■	10.00	20.00	28.9	124427.97
■	20.00	30.00	24.4	105058.06
■	30.00	40.00	14.4	61803.08
■	40.00	50.00	8.6	36943.51
■	50.00	60.00	4.1	17704.12
■	60.00	70.00	2.8	12059.53
■	70.00	80.00	0.8	3640.30
■	80.00	90.00	0.3	1099.07
■	90.00	100.00	0.2	734.78

ESCALA
1: 4500



FECHA:
NOVIEMBRE 2011

PROYECTO:
IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERAS

UBICACION:
CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZAN

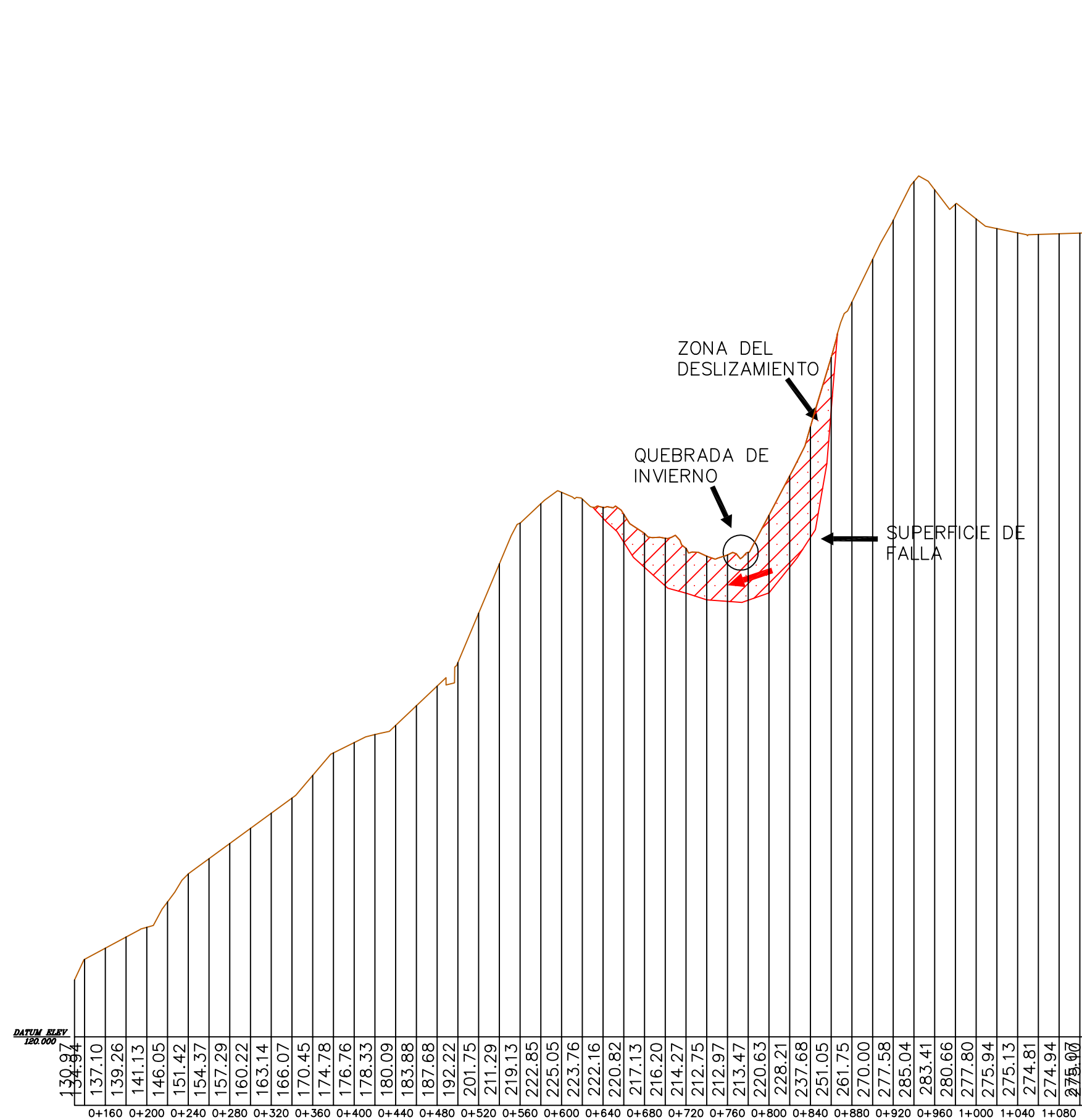
CONTENIDO:
MAPA DE PENDIENTES

DOCENTE DIRECTOR:
ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO

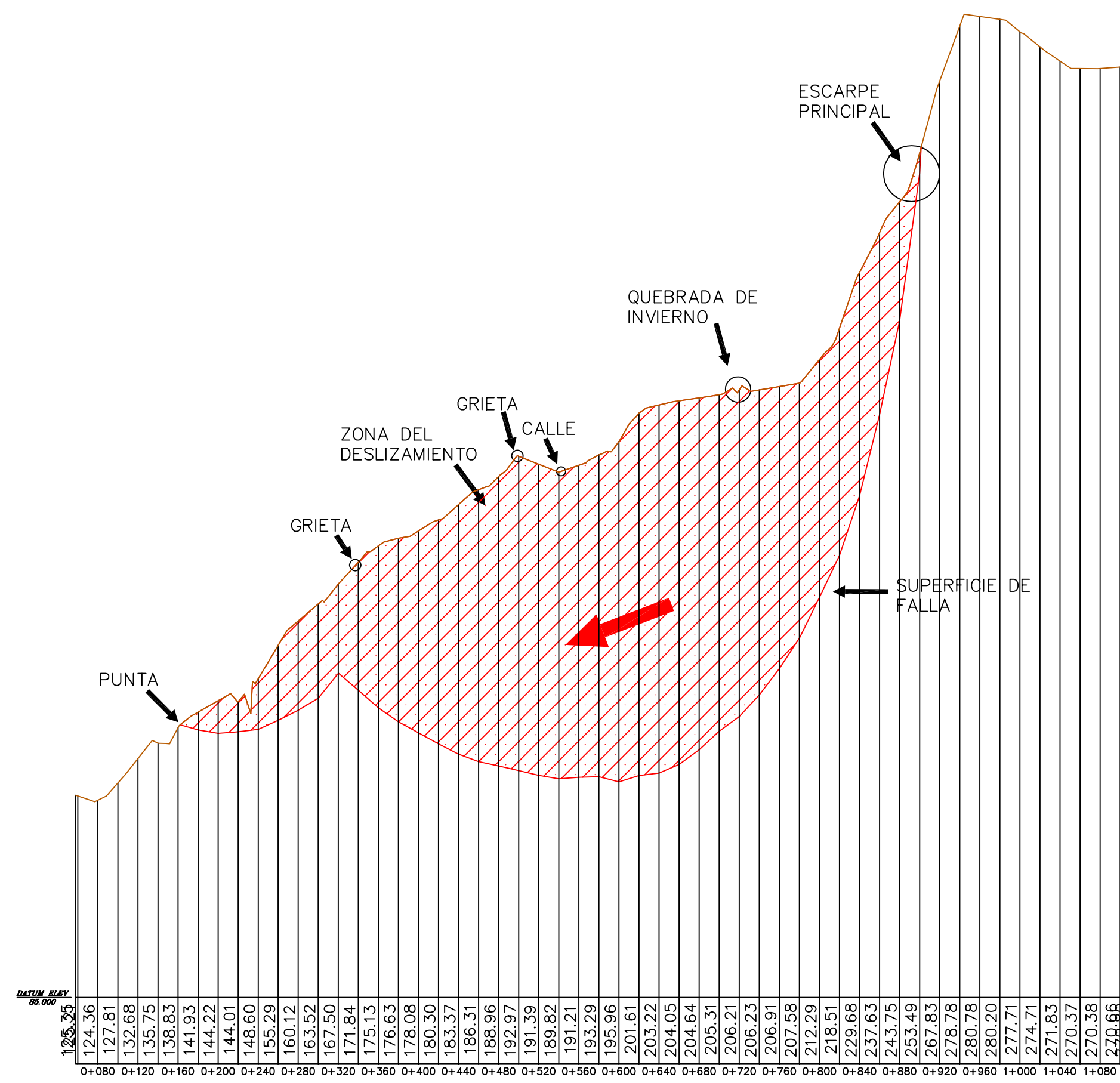
PRESENTA:
BR. HUGO ORLANDO AMAYA CAÑAS
BR. JOSE OSCAR CISNEROS MEJIA
BR. CARLOS FERNANDO JIMENEZ CHAVEZ

HOJA: 4/11

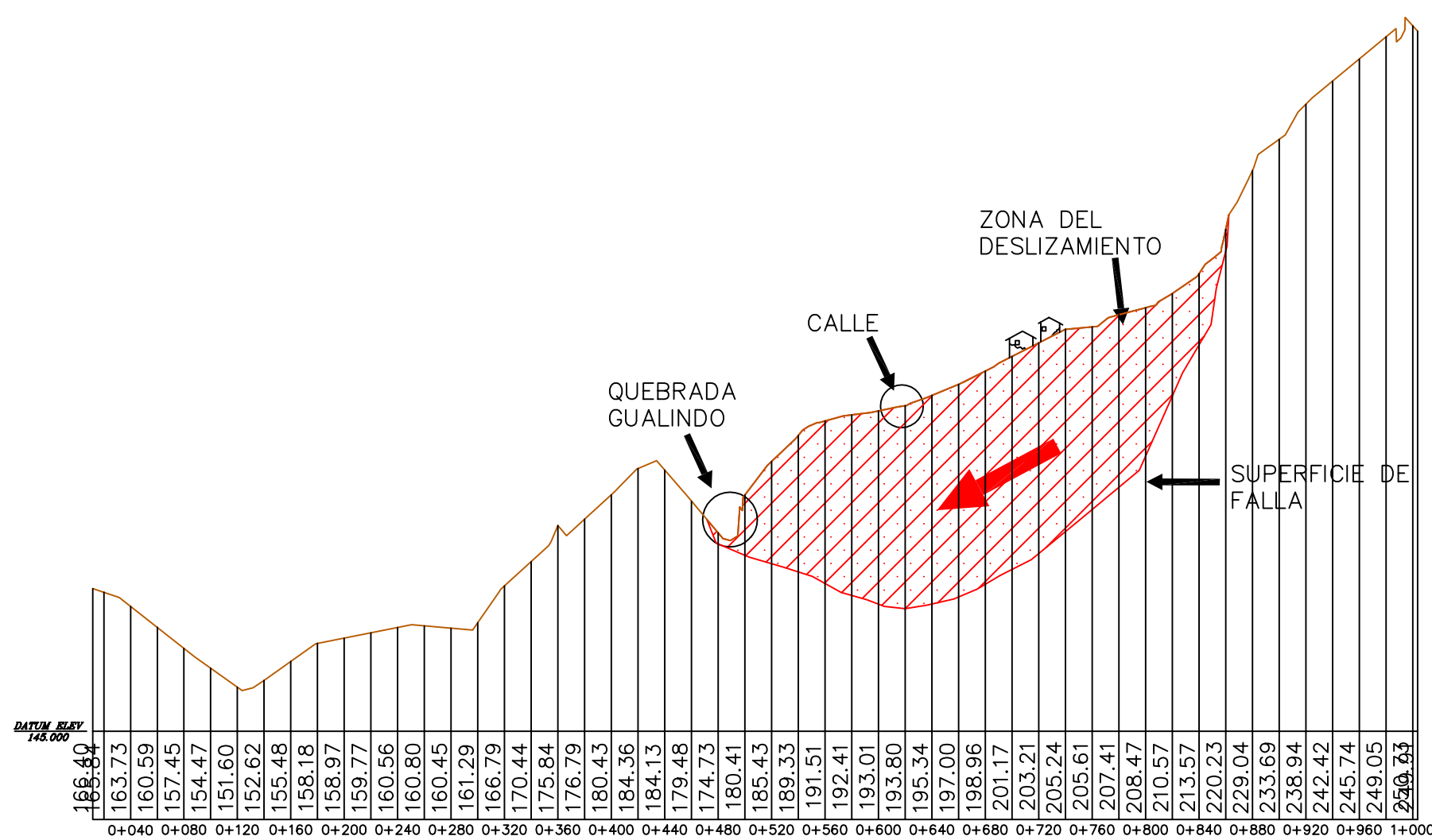
ESCALA:
INDICADAS



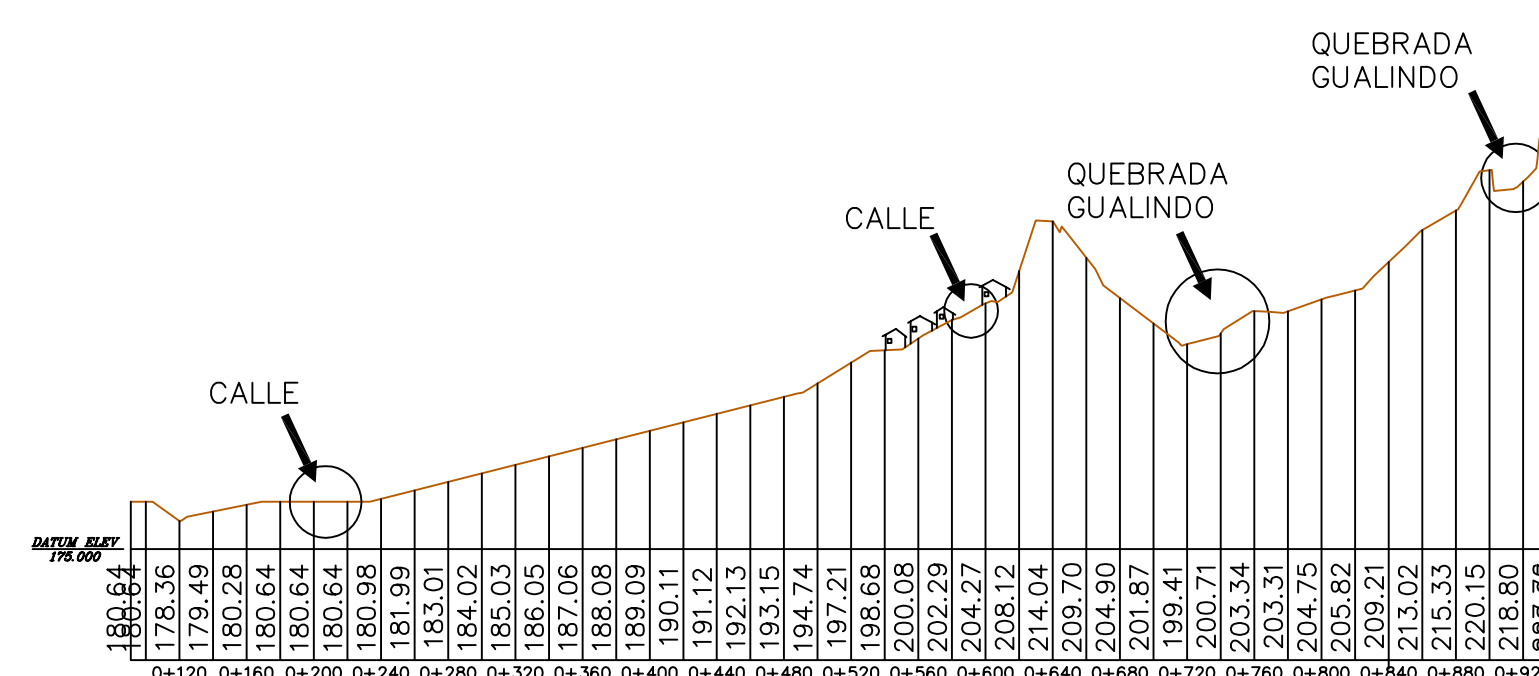
PERFIL 1-1



PERFIL 2-2



PERFIL 3-3



PERFIL 4-4

ANEXO 61

ESCALA HORIZONTAL
1: 4095

ESCALA VERTICAL
1: 819



FECHA:
NOVIEMBRE 2011

PROYECTO:
IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERAS

UBICACION:
CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZAN

DOCENTE DIRECTOR:
ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO

PRESENTA:
BR. HUGO ORLANDO AMAYA CAÑAS
BR. JOSE OSCAR CISNEROS MEJIA
BR. CARLOS FERNANDO JIMENEZ CHAVEZ

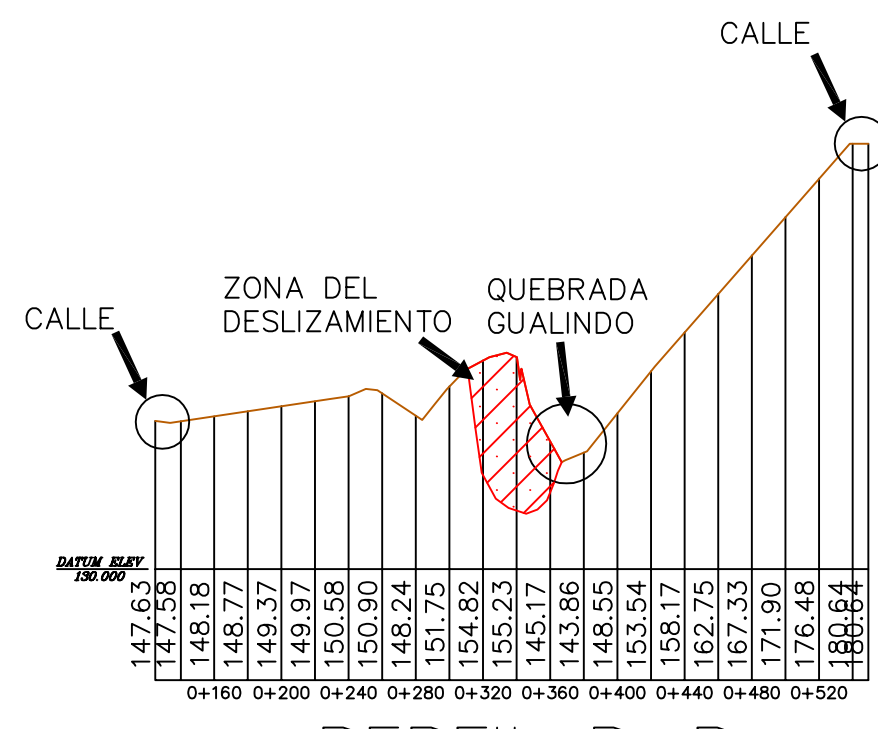
CONTENIDO:
PERFILES TRANSVERSALES
DE LA LADERA (LARGO)

HOJA: 5/11

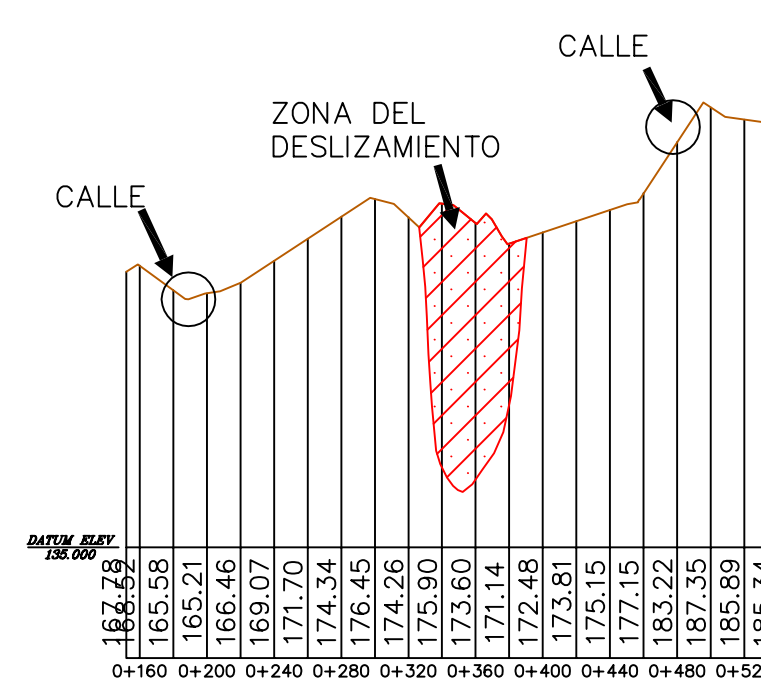
ESCALA:
INDICADAS



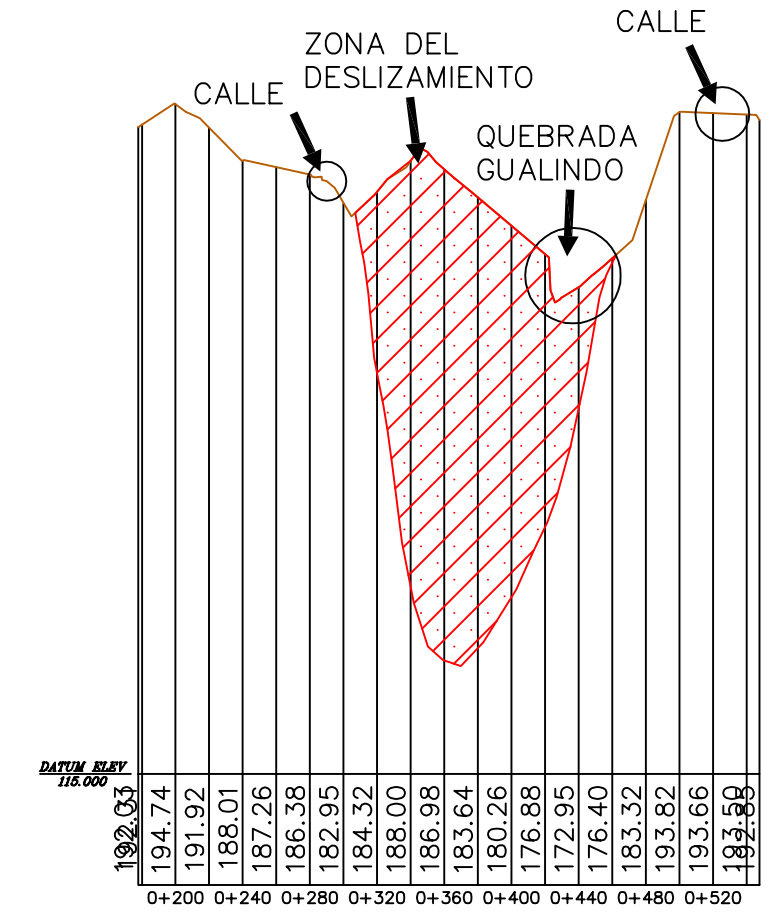
PERFIL A-A



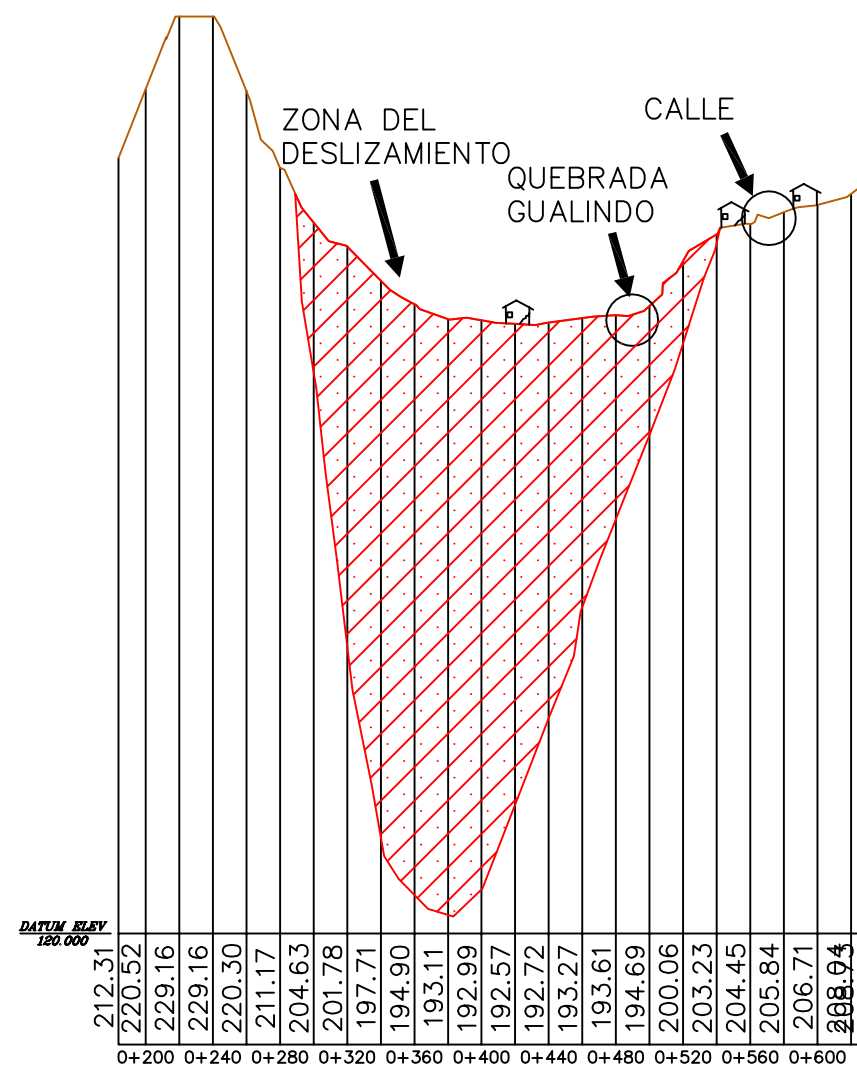
PERFIL B-B



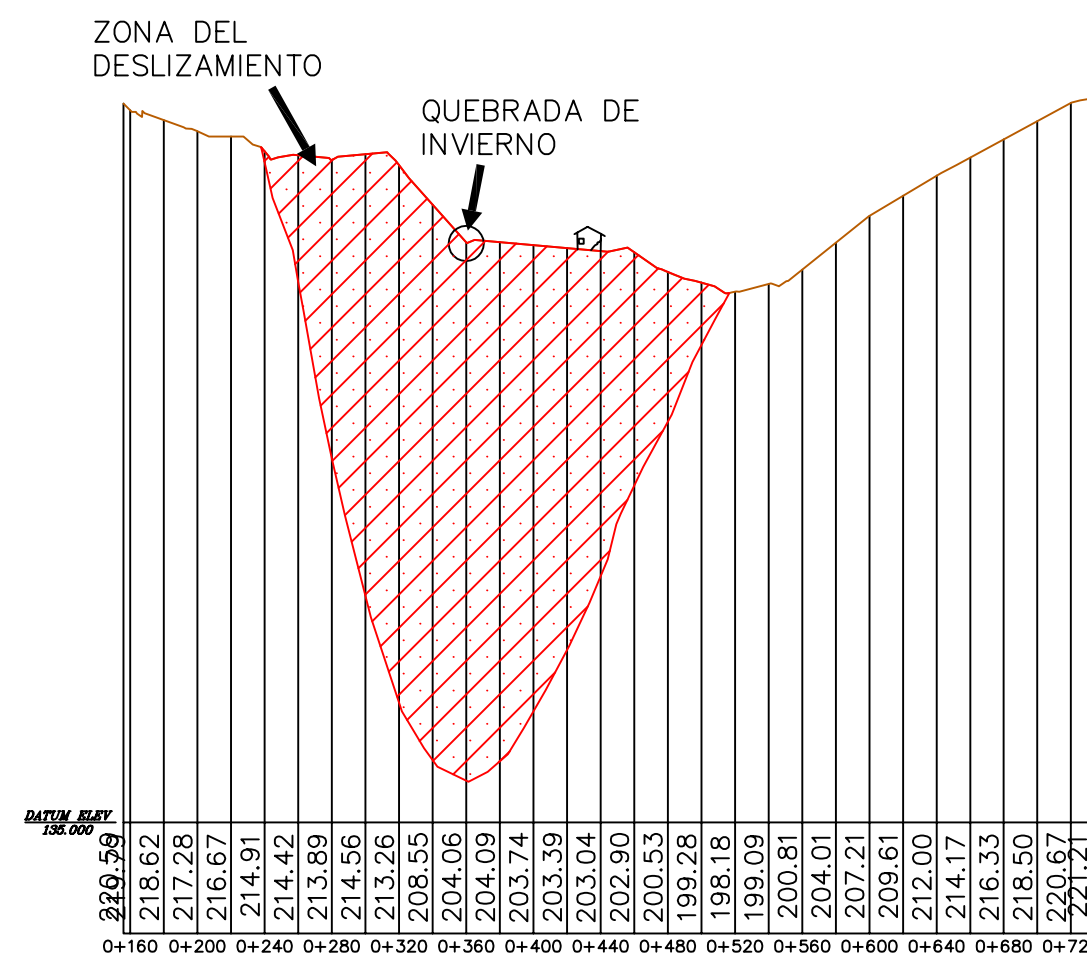
PERFIL C-C



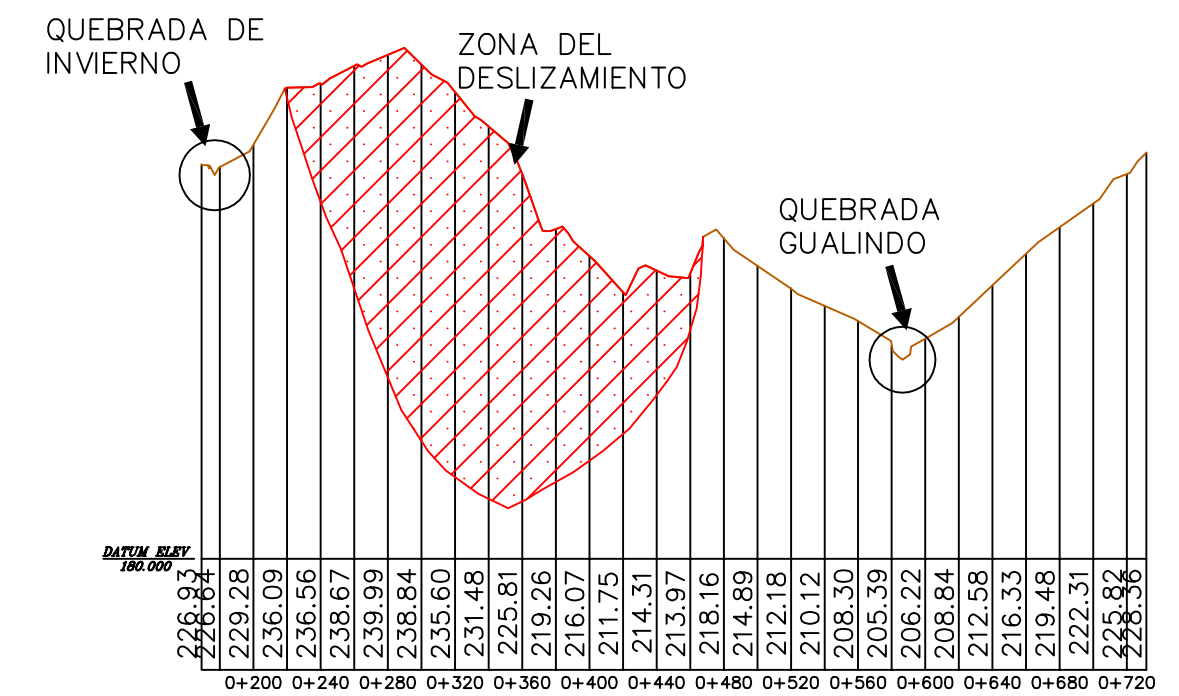
PERFIL D-D



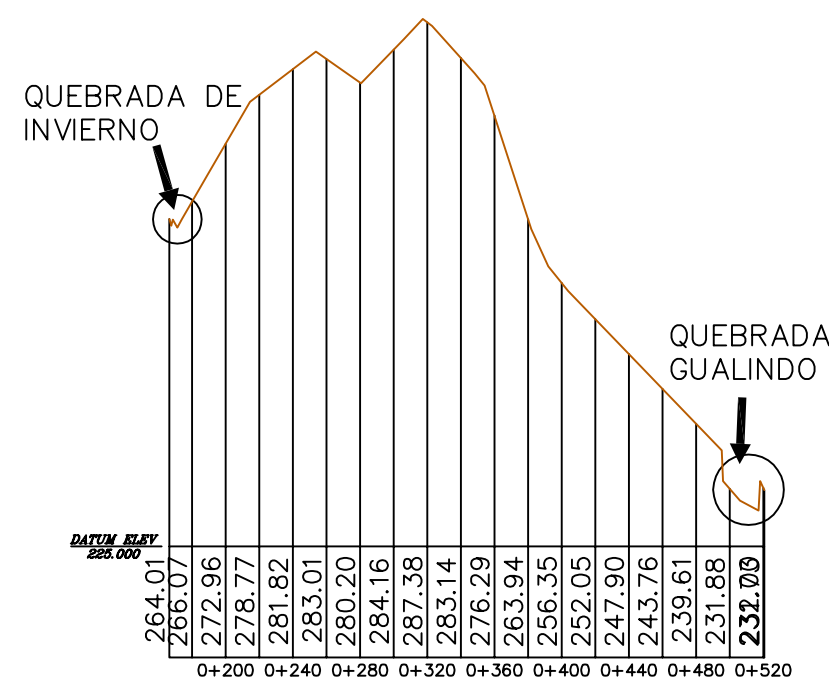
PERFIL E-E



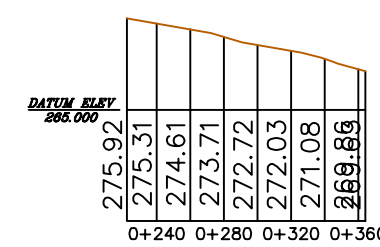
PERFIL F-F



PERFIL G-G



PERFIL H-H



PERFIL I-I

ESCALA HORIZONTAL
1:3000

ESCALA VERTICAL
1:600

ANEXO 62



FECHA:
NOVIEMBRE 2011

PROYECTO:
IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERAS

UBICACION:
CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZAN

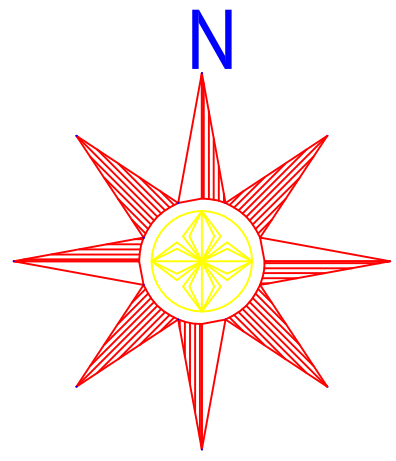
CONTENIDO:
PERFILES TRANSVERSALES
DE LA LADERA (ANCHO)

DOCENTE DIRECTOR:
ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO

PRESENTA:
BR. HUGO ORLANDO AMAYA CAÑAS
BR. JOSE OSCAR CISNEROS MEJIA
BR. CARLOS FERNANDO JIMENEZ CHAVEZ

HOJA: 6/11

ESCALA:
INDICADAS



292,000 N

291,500 N

291,000 N

290,500 N

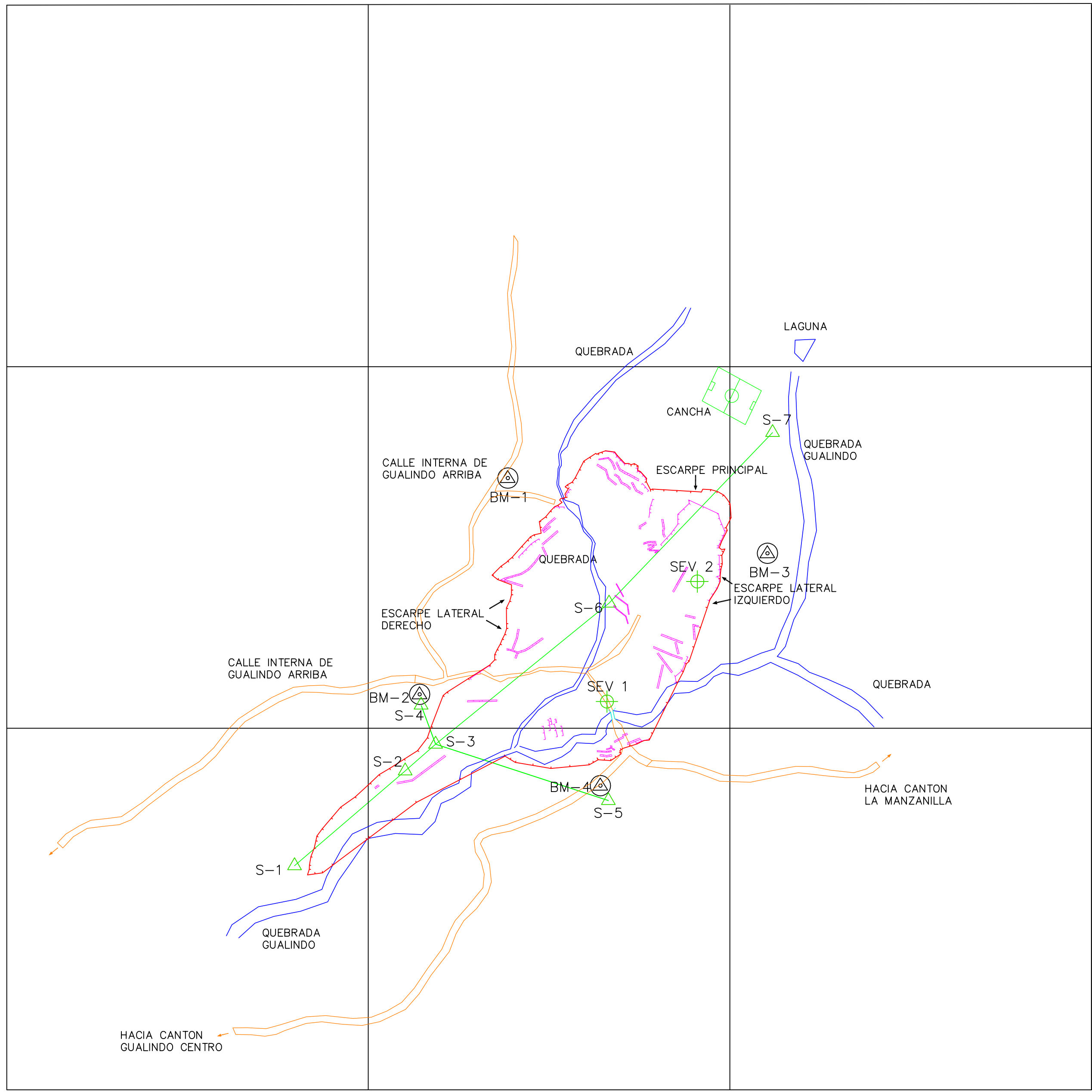
600,000 E

600,500 E

601,000 E

601,500 E

CUADRO DE SIMBOLOGIA	
CLAVE	DESCRIPCION
	ESCARPES LATERALES Y PRINCIPAL
	ESCARPES SECUNDARIOS
	GRIETAS
	BANCOS DE MARCA
	S-"N": SONDEO GEOTECNICO NUMERO "N"
	SEV "N": SONDEO ELECTRICO VERTICAL NUMERO "N"



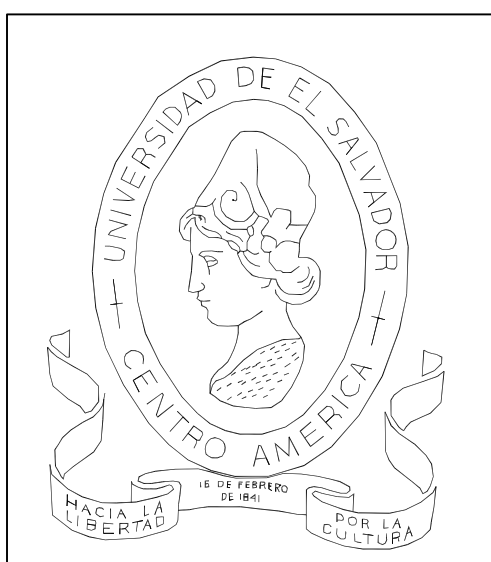
ANEXO 63

ESCALA
1: 4500

UBICACION DE LOS BANCOS DE MARCA			
BANCO DE MARCA	COORDENADA ESTE (MT)	COORDENADA NORTE (MT)	ELEVACION (M.S.N.M)
COROBAN	600,657.41	289,003.41	942.00
PUNTA CLARIN	598,746.89	294,153.72	697.00
1	600,693.00	291,346.00	533.00
2	600,571.00	291,047.00	490.00
3	601,052.00	291,242.00	551.00
4	600,821.00	290,920.00	502.00

UBICACION DE LOS SONDEOS			
SONDEO	COORDENADA ESTE (MT)	COORDENADA NORTE (MT)	ELEVACION (M.S.N.M)
S-1	600,398.00	290,810.00	432.00
S-2	600,551.00	290,941.00	455.00
S-3	600,593.00	290,978.00	501.00
S-4	600,573.00	291,032.00	491.00
S-5	600,832.00	290,900.00	495.00
S-6	600,833.00	291,173.00	520.00
S-7	601,059.00	291,409.00	560.00

UBICACION DE LOS SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES			
SONDEO	COORDENADA ESTE (MT)	COORDENADA NORTE (MT)	ELEVACION (M.S.N.M)
SEV 1	600,830.00	291,037.00	498.00
SEV 2	600,955.00	291,203.00	513.00



FECHA:
NOVIEMBRE 2011

PROYECTO:
IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERAS

UBICACION:
CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZAN

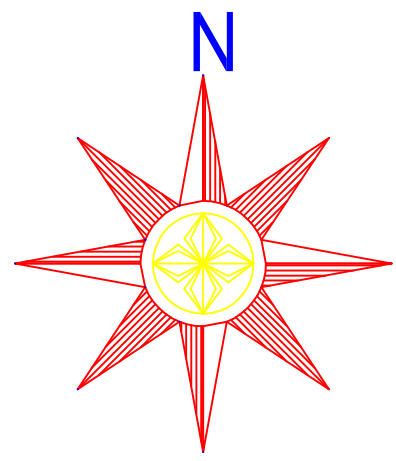
CONTENIDO:
UBICACION DE SONDEOS GEOTECNICOS, SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES Y BANCOS DE MARCA

DOCENTE DIRECTOR:
ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO

PRESENTA:
BR. HUGO ORLANDO AMAYA CAÑAS
BR. JOSE OSCAR CISNEROS MEJIA
BR. CARLOS FERNANDO JIMENEZ CHAVEZ

HOJA: 7/11

ESCALA:
INDICADAS



292,000 N

291,500 N

291,000 N

290,500 N

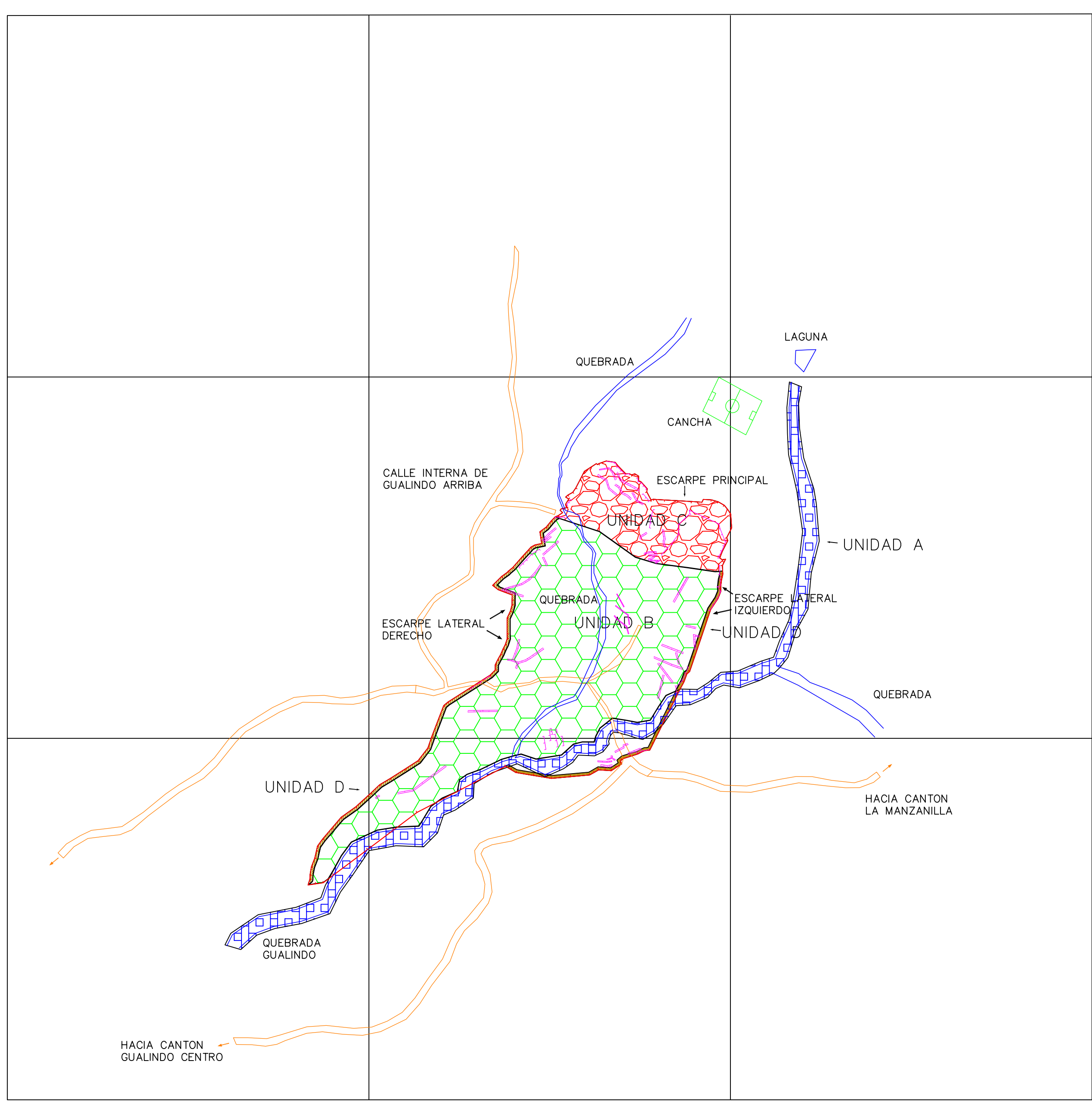
600,000 E

600,500 E

601,000 E

601,500 E

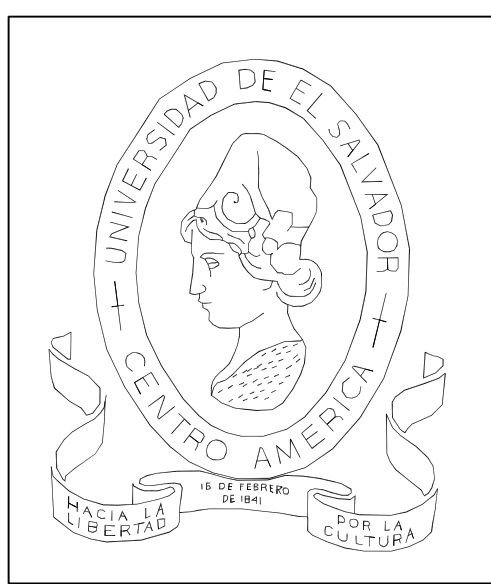
CUADRO DE SIMBOLOGIA	
CLAVE	DESCRIPCION
	ESCARPES LATERALES Y PRINCIPAL
	ESCARPES SECUNDARIOS
	GRIETAS
	UNIDAD A (Formada por el cauce del río y sus escarpes)
	UNIDAD B (Formada por el sector semiplano N-E, con pendientes moderadas)
	UNIDAD C (Formada por el sector de altas pendientes)
	UNIDAD D (Formada por el sector lateral del movimiento o escarpes laterales)



ESCALA
1: 4500

ANEXO 64

DETALLES DE AREAS	
UNIDAD MORFOLOGICA	AREA (M2)
A	27,149.83
B	87,942.77
C	20,336.91
D	4,664.48



FECHA:
NOVIEMBRE 2011

PROYECTO:
IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERAS

UBICACION:
CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZAN

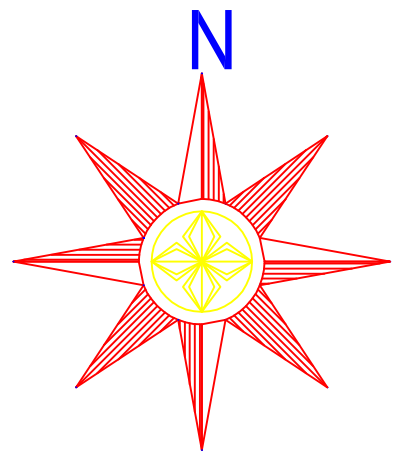
CONTENIDO:
MAPA MORFOLOGICO

DOCENTE DIRECTOR:
ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO

PRESENTA:
BR. HUGO ORLANDO AMAYA CAÑAS
BR. JOSE OSCAR CISNEROS MEJIA
BR. CARLOS FERNANDO JIMENEZ CHAVEZ

HOJA: 8/11

ESCALA:
INDICADAS



292,000 N

291,500 N

291,000 N

290,500 N

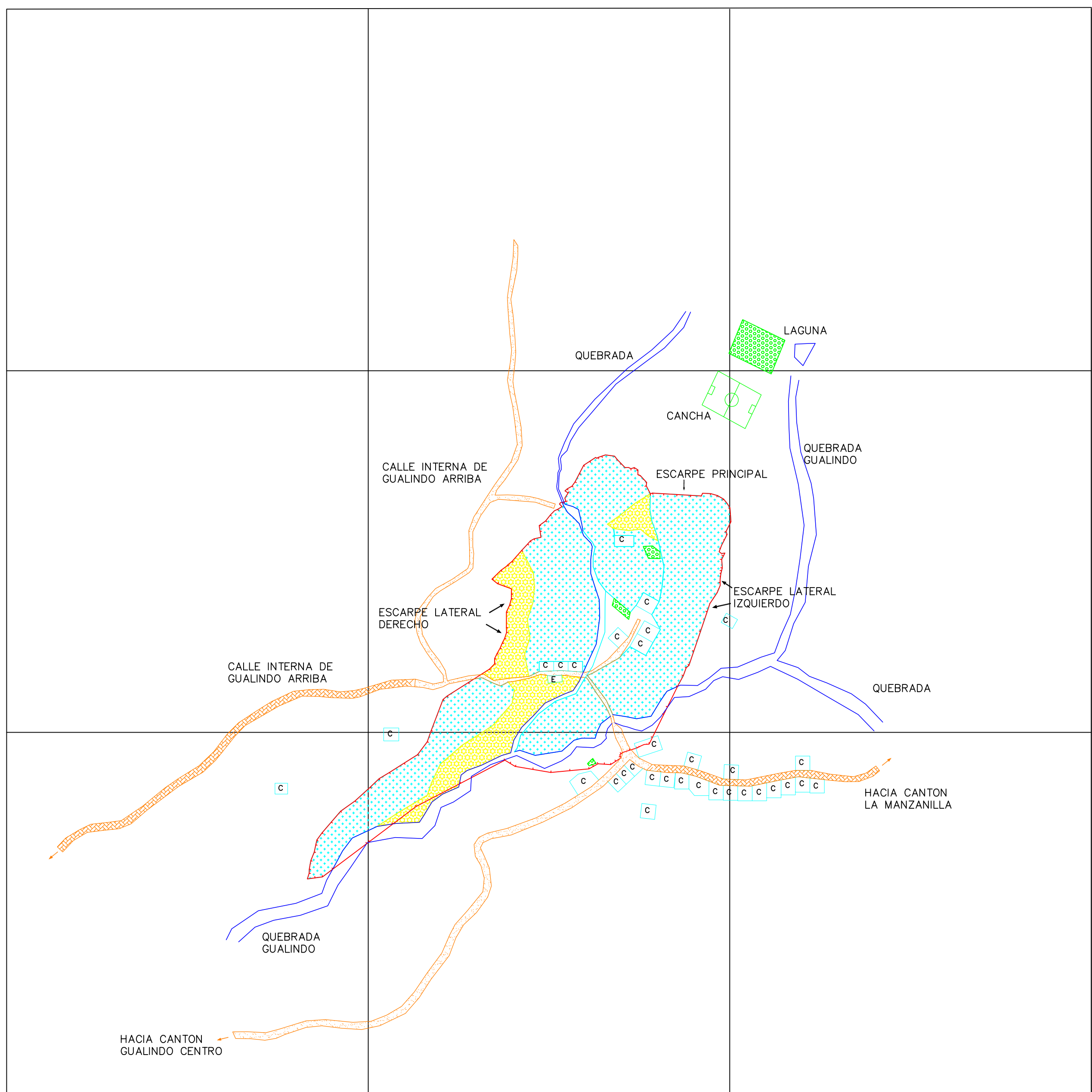
600,000 E

600,500 E

601,000 E

601,500 E

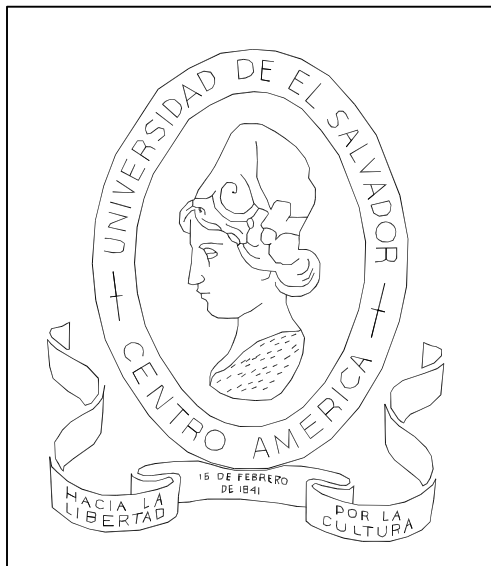
CUADRO DE SIMBOLOGIA	
CLAVE	DESCRIPCION
C	CASA
	CALLE DE CONCRETO O EMPEDRADO
	CALLE DE TIERRA
E	ERMITA CATOLICA
	ESCARPES LATERALES Y PRINCIPAL
	ZONA DE CUBIERTA DE ARBOLES
	ZONA DE CULTIVOS (MAIZ, AYOTE, BANANOS)
	ZONA CUBIERTA POR PASTOS PARA GANADO



ESCALA
1: 4500

ANEXO 65

USO DEL SUELO DENTRO DE LA LADERA AFECTADA		
USO DEL SUELO	AREA (MT2)	% AREA DE LADERA
ZONA CUBIERTA DE ARBOLES	18,595.35	15.05
ZONA DE CULTIVOS	618.64	0.50
ZONA CUBIERTA POR PASTOS PARA GANADO	84,793.39	68.65



FECHA:
NOVIEMBRE 2011

PROYECTO:
IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERAS

UBICACION:
CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZAN

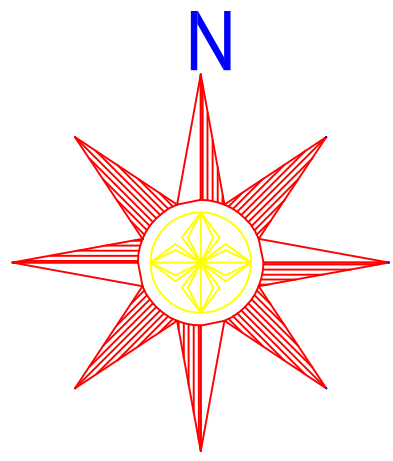
CONTENIDO:
USO DE SUELO
(DENTRO)

DOCENTE DIRECTOR:
ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO

PRESENTA:
BR. HUGO ORLANDO AMAYA CAÑAS
BR. JOSE OSCAR CISNEROS MEJIA
BR. CARLOS FERNANDO JIMENEZ CHAVEZ

HOJA: 9/11

ESCALA:
INDICADAS



292,000 N

291,500 N

291,000 N

290,500 N

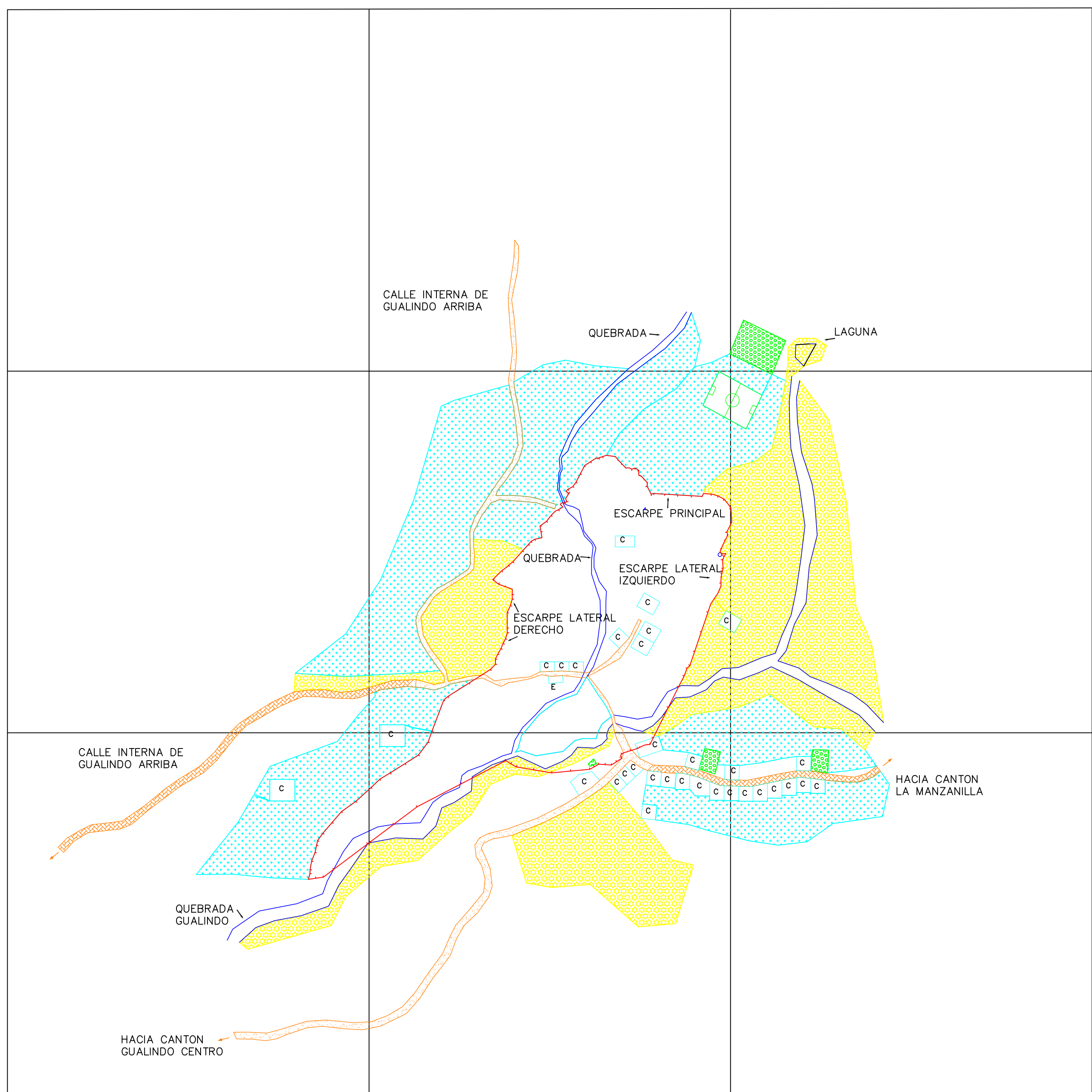
600,000 E

600,500 E

601,000 E

601,500 E

CUADRO DE SIMBOLOGIA	
CLAVE	DESCRIPCION
C	CASA
	CALLE DE CONCRETO O EMPEDRADO
	CALLE DE TIERRA
E	ERMITA CATOLICA
	ESCARPES LATERALES Y PRINCIPAL
	ZONA DE CUBIERTA DE ARBOLES
	ZONA DE CULTIVOS (MAIZ, AYOTE, BANANOS)
	ZONA CUBIERTA POR PASTOS PARA GANADO



ESCALA
1: 4500

ANEXO 66

USO DEL SUELO FUERA DE LA LADERA AFECTADA	
USO DEL SUELO	AREA (MT2)
ZONA CUBIERTA DE ARBOLES	132,916.27
ZONA DE CULTIVOS	4,657.09
ZONA CUBIERTA POR PASTOS PARA GANADO	170,929.46



FECHA:
NOVIEMBRE 2011

PROYECTO:
IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERAS

UBICACION:
CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZAN

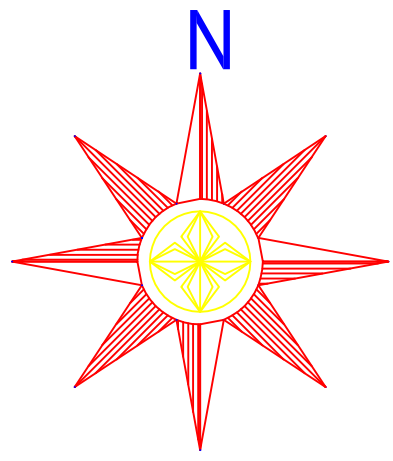
CONTENIDO:
USO DE SUELO
(FUERA)

DOCENTE DIRECTOR:
ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO

PRESENTA:
BR. HUGO ORLANDO AMAYA CAÑAS
BR. JOSE OSCAR CISNEROS MEJIA
BR. CARLOS FERNANDO JIMENEZ CHAVEZ

HOJA: 10/11

ESCALA:
INDICADAS



292,000 N

291,500 N

291,000 N

290,500 N

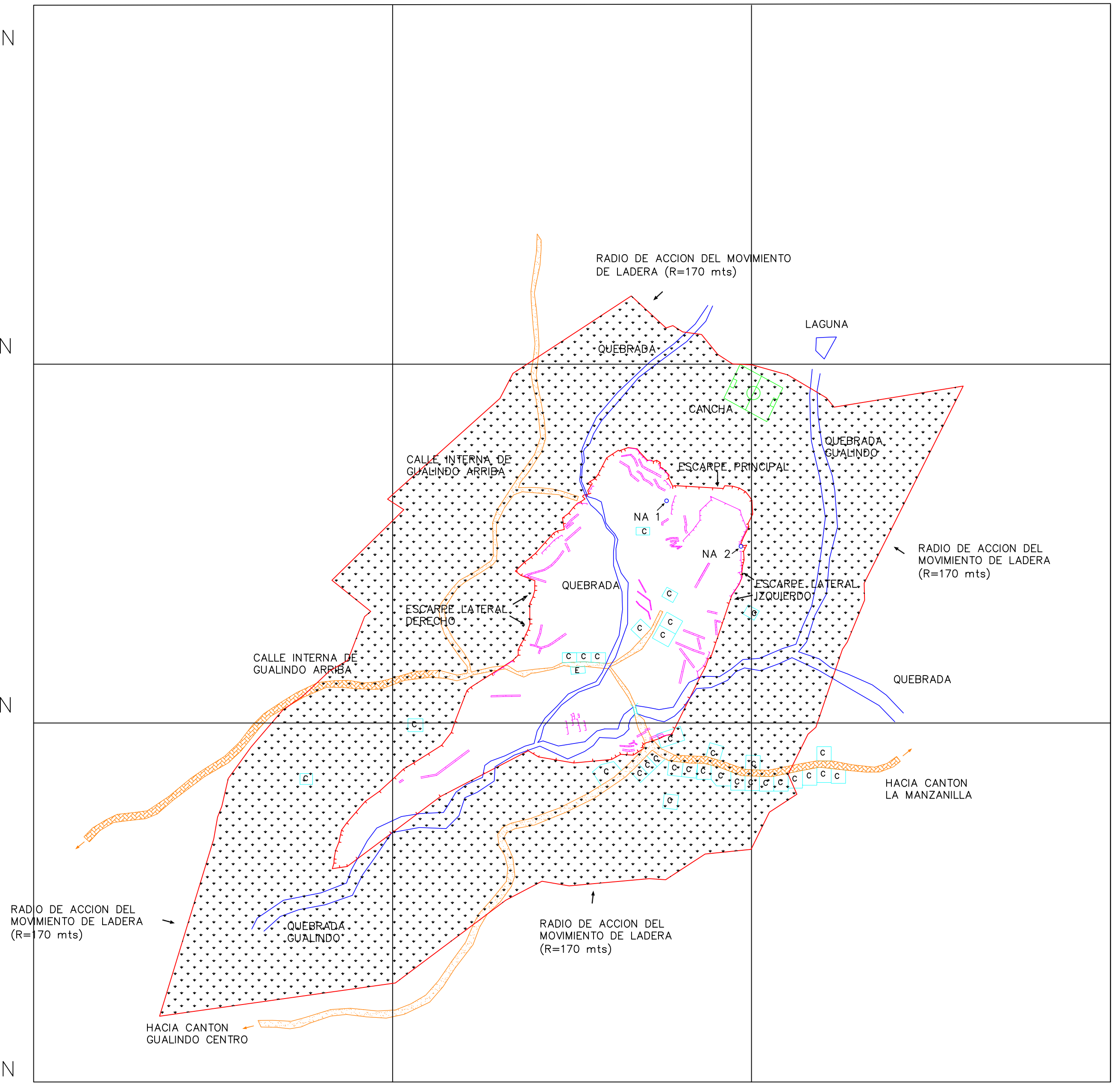
600,000 E

600,500 E

601,000 E

601,500 E

CUADRO DE SIMBOLOGIA	
CLAVE	DESCRIPCION
C	CASA
	CALLE DE CONCRETO O EMPEDRADO
	CALLE DE TIERRA
E	ERMITA CATOLICA
	ESCARPES LATERALES Y PRINCIPAL
	ESCARPES SECUNDARIOS
	GRIETAS
	NA: NACIMIENTO DE AGUA
	PUENTE
	RADIO DE ACCION DEL MOVIMIENTO DE LADERA



AREA INESTABLE =123,521.673 m²
 =12.352 Ha
 =17.646 Mz

ESCALA
1: 4500

ANEXO 67



FECHA: NOVIEMBRE 2011	PROYECTO: IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LADERAS	CONTENIDO: RADIO DE ACCION DEL MOVIMIENTO DE LADERA
UBICACION: CANTÓN GUALINDO ARRIBA, MUNICIPIO DE LOLOTIQUILLO, DEPARTAMENTO DE MORAZAN		
DOCENTE DIRECTOR: ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO	PRESENTA: BR. HUGO ORLANDO AMAYA CAÑAS BR. JOSE OSCAR CISNEROS MEJIA BR. CARLOS FERNANDO JIMENEZ CHAVEZ	HOJA: 11/11
		ESCALA: INDICADAS