

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



TRABAJO DE GRADUACIÓN:

“CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS EN SECTOR DE COMUNIDAD LOS  
CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN  
MIGUEL Y PROPUESTA DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN DE LADERAS”

PRESENTA:

ERICK NOÉ GONZÁLEZ CORNEJO  
FRANCISCO JAVIER PONCE LOBOS  
EVA ISABEL ULLOA MONTOYA

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

NOVIEMBRE DE 2014

SAN MIGUEL, EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO  
**RECTOR**

MS.D ANA MARÍA GLOWER DE ALVARADO  
**VICERRECTORA ACADÉMICA**

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA  
**SECRETARIA GENERAL**

**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

LIC. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ  
**DECANO**

LIC. CARLOS ALEXANDER DÍAZ  
**VICE DECANO**

LIC. JORGE ALBERTO ORTEZ HERNÁNDEZ  
**SECRETARIO**

**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

ING. JUAN ANTONIO GRANILLO COREAS  
**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO  
**DOCENTE ASESOR**

ING. DAVID ARNOLDO CHÁVEZ SARAVIA  
**TRIBUNAL CALIFICADOR**

ING. GUILLERMO MOYA TURCIOS  
**TRIBUNAL CALIFICADOR**

ING. GUILLERMO MOYA TURCIOS  
**COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

INGA. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA  
**COORDINADORA GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO AL GRADO DE:**  
**INGENIERO CIVIL**

**TÍTULO:**

“CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS EN SECTOR DE COMUNIDAD LOS  
CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN  
MIGUEL Y PROPUESTA DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN DE LADERAS”

**PRESENTADO POR:**

GONZÁLEZ CORNEJO, ERICK NOÉ  
PONCE LOBOS, FRANCISCO JAVIER  
ULLOA MONTOYA, EVA ISABEL

**TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:**

ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO

**DOCENTE ASESOR**

INGA. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA  
**COORDINADORA GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, SAN MIGUEL, NOVIEMBRE DE 2014**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:**

---

ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO

**DOCENTE ASESOR**

---

ING. DAVID ARNOLDO CHÁVEZ SARAVIA

**TRIBUNAL CALIFICADOR**

---

ING. GUILLERMO MOYA TURCIOS

**TRIBUNAL CALIFICADOR**

---

INGA. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA

**COORDINADORA GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN**

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos agradecer de manera muy especial a todas las personas e instituciones que nos brindaron su apoyo desinteresado para el desarrollo de nuestro trabajo de graduación:

A nuestra alma máter, Universidad de El Salvador por abrirnos las puertas y dejarnos ser parte de la gran familia universitaria.

A nuestros docentes por habernos formado académicamente a lo largo de toda nuestra carrera y haber transmitido sus conocimientos profesionales; en especial al Ing. Rigoberto López, Ing. Mauricio Perla y Arq. Fidel Alfaro Hernández por sus comentarios, sugerencias y apoyo en todo momento.

A nuestro docente asesor, Ing. Francisco Aguirre Gallo y a los miembros del tribunal calificador, Ing. David Chávez Saravia e Ing. Guillermo Moya Turcios, por su constante orientación y aportes en el desarrollo de la investigación.

A la coordinadora de trabajos de graduación, Ing. Milagro de María Romero de García, por sus sugerencias, apoyo e interés en el desarrollo de nuestro trabajo de graduación.

A los Ingenieros Dilber Sánchez y Evelio López, docentes de la Universidad de El Salvador, sede central, por compartir sus conocimientos con nosotros, brindando un aporte fundamental en nuestra investigación.

A la Dirección General de Protección Civil, por el aporte de información indispensable para el desarrollo de nuestro trabajo, en especial al Sr. Carlos Ayala y al Cnel. Oscar Portillo.

## **DEDICATORIA**

Finalmente después de terminar este arduo trabajo, quiero dedicar todo el esfuerzo realizado a lo largo de todo el desarrollo de mi carrera profesional:

**A Dios Todopoderoso**, mi Padre Celestial, por ser quien me dio la vida, sabiduría y mucha fortaleza desde siempre en todos los momentos, felices y tristes de mi vida, donde la Fe en Él, fue el motor que permitió que alcanzara cada una de las metas propuestas **y finalmente, a la Virgen María** por regalarme ese amor maternal con el cual creció a nuestro Señor Jesucristo y por estar siempre a mi lado intercediendo por cada una de mis necesidades.

**A mis padres, Erick y Marisol**, por ser mi gran orgullo y ejemplo a seguir, por haberse sacrificado día a día para darme su amor y lo mejor de ellos, por ser quienes me apoyaron incondicionalmente y tuvieron fe y esperanza que podía lograr mis objetivos desde el comienzo de mi preparación académica a pesar de todas las adversidades que hemos atravesado en nuestras vidas.

**A mis hermanos, Carlos José, Erika Marisol y Arianna María**, por compartir mí sangre, por estar conmigo desde siempre, darme su apoyo incondicional y haber luchado junto a mí en todas las etapas de nuestras vidas.

**A mis abuelos, José Luis y María del Carmen**, por ese amor tan especial que me demostraron desde pequeño, ese apoyo tan grande que me brindaron siempre y esa confianza que me dieron de que podía llegar a ser alguien en la vida.

**A mis tíos y primos**, por estar pendientes siempre de mi persona y de mi familia y por alentarme a seguir adelante en mi trabajo de graduación en los momentos más desesperantes.

**A mi novia, Georgina Meléndez**, por ser ese ángel que Dios me ha regalado y que me ha dado su amor, por ayudarme a ser mejor persona, por apoyarme desinteresadamente y con quien he compartido muchos momentos especiales de mi vida.

**A mis hermanos de mi Parroquia El Señor del Calvario**, por regalarme esa amistad tan hermosa y por permitirme a través de ustedes, ver como Dios está presente en el ser humano; gracias por acogerme y regalarme sus oraciones de una manera incondicional.

**A mis amigos, de infancia, del colegio y de la universidad**, por darme toda su amistad tan verdadera e incondicional y por ser un apoyo y motivación extra para seguir luchando por alcanzar mis metas.

**A mis compañeros de Tesis, Javier y Eva**, por haberme permitido ser su compañero en este trabajo, del cual me quedan muchos recuerdos, donde muchas veces nos sentimos derrotados, desesperados e impotentes, pero que finalmente pudimos terminar satisfactoriamente con la ayuda de Dios y de otras personas que nos ayudaron a seguir adelante y a no desfallecer; mis mejores deseos para ustedes, que sean los mejores profesionales del mundo y que Dios los cuide y bendiga siempre!!.

**A toda la gente particular**, que se interesó por nuestro trabajo y que nos dio los mejores consejos y ayuda sin esperar nada a cambio, Dios los Bendiga.

*Y de repente Dios me dijo: cumple todos mis mandamientos y haré posible los deseos más grandes de tu corazón...*

ERICK NOÉ GONZÁLEZ CORNEJO



## **DEDICATORIA**

En la culminación de esta etapa de mi vida, quiero agradecer muchas personas sin las cuales no hubiese sido posible alcanzar esta meta:

A mi madre, quien a través de su amor y apoyo incondicional ha guiado mis pasos a lo largo de mi vida; por ser un ejemplo de lucha, quien con muchos sacrificios ha logrado sacarme adelante y forjarme en la persona que ahora soy; por no rendirse nunca conmigo y ayudarme a alcanzar este triunfo. Por todo; gracias, mamá.

A mi tío Miguel, por ser un padre para mí, brindándome comprensión y cariño; por darme consejos cuando los he necesitado; por confiar siempre en mí; y por ese apoyo incondicional que siempre me ha brindado.

A Wilberth, Alejandro y Miguel, por estar siempre que los he necesitado, apoyándome en todo momento; por compartir tantos buenos momentos conmigo; y por todo el cariño que siempre me han dado. Por ser ese ejemplo de superación que necesito y por hacerme creer que ninguna meta es inalcanzable cuando se tiene la convicción de alcanzarla.

A mi familia; mis tíos Paco, Mila, Anagil y Lilian (Q.E.P.D.); mis primos: Fran, Migue, Margarita, Carol, Anahí, Katya, Michelle, Anagil y Suhan; y a mi abuelo Salvador Ponce; por siempre estar pendientes de mí, dándome fuerzas para seguir siempre adelante; y por tantos consejos que me han ayudado a crecer como persona.

A mi novia, Karina Sol, por su amor, cariño y comprensión; por ser un pilar muy importante en mi vida y apoyarme en las decisiones que tomo; por ayudarme en la realización de este trabajo desde el primer día y brindarme la seguridad que necesito en los momentos difíciles. Por ayudarme a ser mejor siempre y por todo el apoyo brindado.

A mis hermanos Katie y Christopher Ponce por su cariño y comprensión; por apoyarme y confiar en mí; y por recibirme siempre con una sonrisa y hacerme sentir como en casa.

A Lucía Argueta y Rafael Sol, por confiar en mí desde el principio y estar siempre pendientes de mí; por compartir sus alegrías conmigo y apoyarme en las decisiones que tomo.

A mis amigos, Dennys Sánchez, Saúl y Wendy Vela, Juan Ayala, Carlos Girón y Saraí; y a mis cuñados Grecia, Rafa y Rodrigo Sol por apoyarme siempre y escucharme cuando he necesitado hablar con alguien, por todo el cariño y por siempre estar pendientes.

A mis compañeros de tesis, Erick y Eva, por haber aceptado trabajar conmigo; por el esfuerzo y dedicación que le han puesto a este trabajo; por ser pacientes y tolerantes en todo este proceso; y por haber compartido tantos buenos momentos juntos.

A mis maestros, por formarme profesionalmente y por tener esa paciencia que se necesita para enseñar; por enseñarme que todo esfuerzo tiene su recompensa y por estar siempre disponibles cuando surgía cualquier duda.

Quiero dedicar este triunfo a María Ildefonsa Lovos y María Daysi Lovos, a quienes siempre llevo en mis pensamientos y agradezco infinitamente el amor que me brindaron. Sé que siempre cuidan de mí y que disfrutan de este momento conmigo.

FRANCISCO JAVIER PONCE LOBOS

## DEDICATORIA

Al finalizar mi carrera profesional he logrado uno de los objetivos en mi vida y quiero darles las gracias de manera especial a las personas que me apoyaron superando todos los obstáculos para lograrlo, con todo respeto y amor dedico este triunfo:

**A Dios** por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por darme inteligencia y sabiduría, por brindarme fuerzas para seguir adelante y no desmayar ante las adversidades; enseñándome a encarar los problemas sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Sé que sin su amor, misericordia y bondad no habría podido alcanzar una de mis metas.

“Dios es nuestro amparo y fortaleza, nuestro pronto auxilio en las tribulaciones.” Sal. 46:1

**A mis padres** Jorge Ulloa e Isabel Montoya de Ulloa por sus sabios consejos, comprensión, amor y apoyo en todo momento. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, principios, carácter, empeño, perseverancia y coraje para conseguir mis objetivos. Sobre todo les agradezco por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

**A mis hermanos** Jorge Salvador, Carolina Beatriz y Saúl Gabriel por su amor, comprensión, motivación y apoyo incondicional brindado a lo largo de mis estudios; especialmente, les agradezco porque son parte importante de mi vida.

**A mis amigos** que siempre estuvieron dándome ánimo; de una u otra forma me ayudaron a lo largo de mi carrera con su apoyo y sus palabras de aliento que me fortalecieron de principio a fin para seguir adelante con mi objetivo.

**A mis compañeros de tesis** Erick y Javier por su amistad, paciencia, tolerancia, optimismo, por compartir tristezas y alegrías durante todo el proceso de nuestro trabajo de graduación y superar todos los obstáculos para alcanzar un objetivo en común.

“Alabad a Jehová, porque Él es bueno, porque para siempre es su misericordia.” Sal. 136:1

EVA ISABEL ULLOA MONTOYA

## **RESUMEN**

Los movimientos de laderas son partes de las vertientes que se desplazan hacia abajo por efecto de la gravedad y pueden ser inducidos por diversas causas, que actúan como factor detonante. Las más frecuentes son las fuertes lluvias y los terremotos.

Estos fenómenos son el tercer riesgo natural en el mundo por número de víctimas después de los terremotos y las inundaciones. Por este motivo, es importante tenerlos en cuenta en la gestión de los usos del suelo y en las acciones divulgativas y educativas de prevención del riesgo.

La presente tesis tiene como principal objetivo exponer una síntesis del conocimiento sobre movimientos de ladera que sea útil en la caracterización de los mismos. En el documento se definen los tipos de movimientos de ladera y se exponen sus capacidades destructivas en base a sus velocidades. También se realizó la determinación morfológica y de las propiedades físico-mecánicas de los suelos que componen la ladera noroeste del volcán Chaparrastique, que constituye el área de estudio.

Como en la mayoría de los riesgos naturales, el estudio del peligro de deslizamientos de laderas requiere disponer de un modelo de estabilidad, el método empleado fue el software GeoStudio 2004 el cual permitió conocer el factor de seguridad de los diferentes sectores en los cuales se dividió la ladera.

Finalmente, en el documento se exponen las acciones para reducir el riesgo, se proponen obras civiles para la estabilización de la ladera, de igual manera un plan de ordenamiento territorial y de conservación de suelos que permita disminuir tanto la amenaza natural como la vulnerabilidad de la población afectada, se diseñó una ficha de evaluación de movimientos de ladera cuyo objetivo es recopilar información de manera rápida y sencilla de las diferentes características o factores a tomar en cuenta a la hora de analizar los movimientos de ladera y determinar el nivel de riesgo existente.

# ÍNDICE

<b>1. ANTEPROYECTO</b>	<b>1</b>
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>2</b>
1.1.1. ANTECEDENTES	2
1.1.2. ENUNCIADO DEL PROBLEMA	7
1.1.3. JUSTIFICACIÓN	8
<b>1.2. DELIMITACIONES</b>	<b>10</b>
1.2.1. ALCANCES	10
1.2.2. LIMITACIONES	11
<b>1.3. OBJETIVOS</b>	<b>12</b>
1.3.1. GENERAL	12
1.3.2. ESPECÍFICOS	12
<b>1.4. MARCO METODOLÓGICO</b>	<b>13</b>
1.4.1. ORGANIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.4.2. PRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN	19
<b>1.5. MARCO NORMATIVO</b>	<b>21</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>23</b>
<b>2.1. MARCO REFERENCIAL.</b>	<b>24</b>
2.1.1. MARCO HISTÓRICO	24
2.1.2. RESEÑA DE OBRAS EXISTENTES	28
<b>2.2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>29</b>
2.2.1. MOVIMIENTO EN MASA O DE LADERAS	29
2.2.1.1. ETAPAS EN EL PROCESO DE FALLA	29
2.2.1.2. CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTO DE MASAS	30
2.2.1.2.1. MOVIMIENTOS DE LAHAR	33
2.2.1.3. CARACTERIZACIÓN DEL MOVIMIENTO	36
2.2.1.4. CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS	38
2.2.2. ESTUDIO GEOTÉCNICO	40
2.2.2.1. MUESTREO	41
2.2.2.2. ENSAYOS DE CAMPO	43
2.2.2.3. ENSAYOS DE LABORATORIO	44
2.2.3. CUENCAS HIDROGRÁFICAS	48
2.2.3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CUENCA	49
2.2.3.2. CARACTERÍSTICAS DE COMPARACIÓN	50
2.2.3.3. CÁLCULO DE AVENIDAS MÁXIMAS	50
2.2.4. MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	54
2.2.4.1. MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	55
2.2.4.2. APLICACIONES DE SOFTWARE	62
2.2.5. RIESGOS Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN	62
2.2.5.1. RIESGO	62
2.2.5.1.1. AMENAZA	63
2.2.5.1.2. VULNERABILIDAD	64
2.2.5.2. MÉTODOS PARA REDUCIR O ELIMINAR EL RIESGO	64

<b>3.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN</b>	<b>69</b>
<b>3.1.</b>	<b>MARCO GEOGRÁFICO, POLÍTICO-ADMINISTRATIVO Y SOCIOECONÓMICO</b>	<b>70</b>
3.1.1.	CONTEXTO GEOGRÁFICO	70
3.1.2.	DIVISIÓN POLÍTICO-ADMINISTRATIVA	71
3.1.2.1.	DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN	72
3.1.3.	SITUACIÓN SOCIOECONÓMICA	74
3.1.3.1.	SERVICIOS BÁSICOS	74
3.1.3.2.	VIVIENDA	75
3.1.3.3.	EDUCACIÓN	76
3.1.3.4.	FUENTES DE EMPLEO E INGRESOS	77
3.1.3.5.	VÍAS DE ACCESO	77
3.1.3.6.	INFRAESTRUCTURA SOCIAL	78
<b>3.2.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO</b>	<b>79</b>
3.2.1.	CLIMA	79
3.2.1.1.	CLIMA EN EL SALVADOR	79
3.2.1.2.	CLIMA EN EL CANTÓN EL VOLCÁN	80
3.2.2.	VEGETACIÓN	81
3.2.3.	GEOLOGÍA	82
3.2.3.1.	GEOLOGÍA REGIONAL	82
3.2.3.2.	GEOLOGÍA LOCAL	83
3.2.4.	RECURSO HÍDRICO	84
3.2.5.	SUELOS	85
3.2.5.1.	TIPO Y USO DE SUELO DEL CANTÓN EL VOLCÁN	85
3.2.5.2.	CLASES DE SUELO EN EL CANTÓN EL VOLCÁN	86
3.2.6.	TOPOGRAFÍA	88
3.2.7.	GEOMORFOLOGÍA LOCAL	89
<b>3.3.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>93</b>
3.3.1.	ZONA ALTA DE LA LADERA NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE	94
3.3.2.	ZONA MEDIA DE LA LADERA NOROESTE VOLCÁN CHAPARRASTIQUE	95
3.3.3.	ZONA BAJA DE LA LADERA NOROESTE VOLCÁN CHAPARRASTIQUE	97
<b>3.4.</b>	<b>ESTUDIO TOPOGRÁFICO</b>	<b>99</b>
3.4.1.	TOPOGRAFÍA (ALTIMETRÍA Y PLANIMETRÍA)	100
<b>3.5.</b>	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO</b>	<b>100</b>
3.5.1.	RECONOCIMIENTO DE ÁREAS INESTABLES Y DESLIZAMIENTOS	102
3.5.2.	DESCRIPCIÓN DE TRABAJO DE CAMPO	103
3.5.2.1.	MUESTREO	103
3.5.2.2.	ENSAYO DENSIDAD IN SITU MÉTODO DEL CONO DE ARENA ASTM D-1556	104
3.5.3.	DESCRIPCIÓN DE TRABAJO DE LABORATORIO	106
3.5.3.1.	CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D-2216	106
3.5.3.1.	DESCRIPCIÓN VISUAL MANUAL DE LOS SUELOS ASTM-D 2488	107
3.5.3.2.	LÍMITES DE ATTERBERG ASTM D-4318	109
3.5.3.3.	CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D-2487	109
3.5.3.4.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM D-4222	110
3.5.3.5.	ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D-3080	112
3.5.4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	113
<b>3.6.</b>	<b>ESTUDIO HIDROLÓGICO</b>	<b>115</b>

3.6.1.	CRITERIOS UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS HIDROLÓGICO	115
3.6.2.	ANÁLISIS DEL LUGAR	117
3.6.2.1.	GENERALIDADES DE LA MICROCUENCA SANTA ISABEL	117
3.6.2.2.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	117
3.6.2.3.	DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS DE INTERÉS	119
3.6.2.4.	DATOS PLUVIALES REGISTRADOS	119
3.6.2.5.	ANÁLISIS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA	121
3.6.2.6.	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MICROCUENCA SANTA ISABEL	124
3.6.3.	EVALUACIÓN DE LOS PUNTOS DE INTERÉS	126
3.6.3.1.	PUNTO DE INTERÉS 1	126
3.6.3.1.1.	PARÁMETROS FÍSICOS DE LA MICROCUENCA	126
3.6.3.1.2.	CARACTERÍSTICAS DE FORMA DE LA MICROCUENCA	128
3.6.3.1.3.	CÁLCULO DE AVENIDAS MÁXIMAS	130
3.6.3.1.4.	MÉTODO DE HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR EQUIVALENTE	132
3.6.3.2.	PUNTO DE INTERÉS 2	138
3.6.3.2.1.	PARÁMETROS FÍSICOS DE LA MICROCUENCA	138
3.6.3.2.2.	CARACTERÍSTICAS DE FORMA DE LA MICROCUENCA	139
3.6.3.2.3.	CÁLCULO DE AVENIDAS MÁXIMAS	140
3.6.3.2.4.	MÉTODO DE HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR	140
3.6.3.2.5.	ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL PUNTO DE INTERÉS	143
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS DE ESTABILIDAD</b>	<b>145</b>
4.1.	INTRODUCCIÓN	146
4.2.	CRITERIOS A CONSIDERAR	147
4.3.	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS CONSIDERADOS	147
4.4.	CONSIDERACIONES DE ANÁLISIS	148
4.5.	MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD PROGRAMA GEOSTUDIO (SLOPE/W) 2004 150	
4.6.	TEORÍA EN LA QUE SE BASA EL PROGRAMA GEO SLOPE	151
4.7.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES (RESULTADOS OBTENIDOS)	153
4.7.1.	LADERA NOROESTE VOLCÁN CHAPARRASTIQUE (TOTAL)	153
4.7.2.	PARTE ALTA DE LADERA NOROESTE VOLCÁN CHAPARRASTIQUE	157
4.7.3.	PARTE MEDIA DE LA LADERA NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE	161
4.7.4.	PARTE BAJA DE LA LADERA NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE	165
4.8.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	169
<b>5.</b>	<b>PROPUESTAS DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN</b>	<b>171</b>
5.1.	INTRODUCCIÓN	172
5.2.	MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE LA AMENAZA	174
5.2.1.	MURO DERIVADOR DE FLUJOS	175
5.2.1.1.	ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA SECCIÓN DEL MURO	176
5.2.1.2.	DISEÑO DE MURO DERIVADOR	177
5.2.2.	CANALETA TRAPEZOIDAL	178
5.2.3.	PRESUPUESTO DE OBRAS CIVILES	181

<b>5.3.</b>	<b>MEDIDAS PROPUESTAS PARA LA MITIGACIÓN DE LA VULNERABILIDAD</b>	<b>182</b>
5.3.1.	PROPUESTA PARA EL REORDENAMIENTO TERRITORIAL CANTÓN EL VOLCÁN MUNICIPIO DE SAN MIGUEL	182
5.3.1.1.	RESTRICCIÓN AMBIENTAL TOTAL	186
5.3.1.2.	RESTRICCIÓN AMBIENTAL MODERADA	193
5.3.1.3.	MEDIANA FACTIBILIDAD PARA EL CAMBIO DEL USO DEL SUELO	195
5.3.1.4.	ALTA FACTIBILIDAD PARA EL CAMBIO DEL USO DEL SUELO	199
5.3.2.	PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DE CONSERVACIÓN DE USOS DE SUELO	202
<b>5.4.</b>	<b>MEDIDAS PROPUESTAS PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DEL RIESGO</b>	<b>212</b>
5.4.1.	FICHA TÉCNICA PARA LA EVALUACIÓN DE MOVIMIENTOS DE LADERA	212
5.4.1.1.	EJEMPLO DE LA APLICACIÓN DE LA FICHA TÉCNICA DE EVALUACIÓN DE RIESGO POR MOVIMIENTOS DE LADERA EN: LA LADERA NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE	215
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>223</b>
6.1.	CONCLUSIONES	224
6.2.	RECOMENDACIONES	225
	<b>GLOSARIO</b>	<b>227</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>232</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>234</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1 Deslizamiento en Colonia Las Colinas (Enero 2001).</i>	2
<i>Figura 1.2 Deslizamiento en curva La Leona, carretera Panamericana (Febrero 2001).</i>	3
<i>Figura 1.3 Flujo de lodo y piedra en Verapaz San Vicente (Febrero 2009).</i>	3
<i>Figura 1.5 Deslizamiento de tierra en el Volcán Chaparrastique (20 de Mayo de 2014).</i>	4
<i>Figura 1.4 Deslizamiento de material volcánico que impidió el paso vehicular en la zona del volcán (Julio 2013).</i>	4
<i>Figura 1.6 Evaluación de deslizamientos de tierra en volcán Chaparrastique.</i>	6
<i>Figura 1.7 Área de inestabilidad proximal sobre parte del cráter, lahar sobre la quebrada La Arenera.</i>	9
<i>Figura 1.8 Diagrama de flujo para la investigación y análisis de deslizamiento.</i>	13
<i>Figura 1.9 Diagrama de presentación de la investigación.</i>	19
<i>Figura 2.1 Nube de cenizas y grietas en laderas del Volcán Chaparrastique (Diciembre 2013).</i>	26
<i>Figura 2.2 Ladera Noroeste del Volcán es considerada la zona más crítica (enero 2014).</i>	27
<i>Figura 2.3 Infraestructura afectada luego de la lluvia del día 11-08-2014.</i>	28
<i>Figura 2.4 Formación de un flujo de residuos en una ladera de alta pendiente.</i>	32
<i>Figura 2.6 Formación y dilución de un lahar en la ladera noroeste del volcán Chaparrastique.</i>	35
<i>Figura 2.5 Mapa de amenaza por lahares Volcán Chaparrastique San Miguel.</i>	35
<i>Figura 2.7 Curva granulométrica.</i>	46
<i>Figura 2.8 Cuenca Hidrográfica.</i>	48
<i>Figura 2.9 Fuerzas en un análisis de arco circular (<math>\phi = 0</math>) (Duncan y Wright, 2005).</i>	57
<i>Figura 2.10 Esquema de un sistema típico de análisis con tajadas o dovelas.</i>	58
<i>Figura 2.11 Fuerzas que actúan sobre una dovela en los métodos de dovelas.</i>	59
<i>Figura 2.12 Fuerzas que actúan sobre una dovela en un análisis de estabilidad del arco circular con dovelas.</i>	58
<i>Figura 2.13 Concepto de Gestión de Riesgo.</i>	63
<i>Figura 3.1 Ubicación geográfica del cantón El Volcán.</i>	70
<i>Figura 3.2 Porcentaje de población afectada de la comunidad Los Carretos</i>	73
<i>Figura 3.3 Distribución de población afectada</i>	73
<i>Figura 3.4 Población estudiantil afectada en comunidad Los Carretos.</i>	77
<i>Figura 3.5 Mapa de zonas climáticas, cantón El Volcán. MARN 2009.</i>	80
<i>Figura 3.6 Mapa de ecosistemas cantón El Volcán. MARN 2009.</i>	81
<i>Figura 3.7 Mapa de Formación Geológica El Salvador.</i>	82
<i>Figura 3.8 Mapa de Litología Cantón El Volcán. MARN 2009.</i>	83
<i>Figura 3.9 Mapa de Cuencas y red hidrográfica, Cantón El Volcán. MARN 2009.</i>	84
<i>Figura 3.10 Cuenca San Esteban. Fuente: INGEMA</i>	85
<i>Figura 3.11 Mapa de Uso de suelos, cantón El Volcán. MARN 2009.</i>	86
<i>Figura 3.12 Mapa de Clases Agrologicas, cantón El Volcán. MARN 2009.</i>	87
<i>Figura 3.13 Mapa de pendientes, cantón El Volcán. MARN 2009.</i>	89
<i>Figura 3.14 Ladera noroeste Volcán Chaparrastique, 21 de diciembre de 2003.</i>	91
<i>Figura 3.15 Ladera noroeste Volcán Chaparrastique, 17 de noviembre de 2009.</i>	91
<i>Figura 3.16 Ladera noroeste Volcán Chaparrastique, 22 de marzo de 2011.</i>	92
<i>Figura 3.17 Ladera noroeste Volcán Chaparrastique, 16 de enero de 2012.</i>	92
<i>Figura 3.18 Ladera noroeste Volcán Chaparrastique, 07 de abril de 2014.</i>	93
<i>Figura 3.19 Zona alta de la ladera noroeste del volcán Chaparrastique-área de estudio.</i>	94
<i>Figura 3.20 Punto de extracción de muestras, zona alta.</i>	95
<i>Figura 3.21 Zona media de la ladera noroeste del volcán Chaparrastique-área de estudio.</i>	96
<i>Figura 3.22 Puntos de extracción de muestras, zona media.</i>	97
<i>Figura 3.23 Zona baja de la ladera noroeste del volcán Chaparrastique-área de estudio.</i>	98

<i>Figura 3.24 Puntos de extracción de muestras zona baja.</i>	98
<i>Figura 3.25 Levantamiento Topográfico.</i>	99
<i>Figura 3.26 Metodología utilizada en el estudio geotécnico.</i>	101
<i>Figura 3.27 Deslizamiento recientes quebrada principal.</i>	102
<i>Figura 3.28 Extracción y protección de las muestras.</i>	103
<i>Figura 3.29 Realización del ensayo de densidad de campo.</i>	105
<i>Figura 3.30 Ensayo de Contenido de humedad.</i>	106
<i>Figura 3.31 Ensayo visual manual de los suelos.</i>	107
<i>Figura 3.32 Diagrama de flujo para suelos tipo grava y arenosos.</i>	110
<i>Figura 3.33 Análisis granulométrico.</i>	111
<i>Figura 3.34 Ensayo de corte directo.</i>	112
<i>Figura 3.35 Curva IDF de estación San Miguel.</i>	123
<i>Figura 3.36 Delimitación de la microcuenca para punto de interés uno.</i>	126
<i>Figura 3.37 Delimitación de microcuenca para punto de interés dos.</i>	138
<i>Figura 3.38 Sección transversal de punto de interés 2.</i>	143
<i>Figura 3.39 Análisis hidráulico de punto de interés 2.</i>	144
<i>Figura 4.1 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Ladera completa (humedad normal, sin sismo).</i>	153
<i>Figura 4.2 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Ladera completa (humedad normal, con sismo).</i>	154
<i>Figura 4.3 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Ladera completa (humedad cercana a la saturación, sin sismo).</i>	155
<i>Figura 4.4 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Ladera completa (humedad cercana a la saturación, con sismo).</i>	156
<i>Figura 4.5 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Parte alta de la ladera (humedad normal, sin sismo).</i>	157
<i>Figura 4.6 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Parte alta de la ladera (humedad normal, con sismo).</i>	158
<i>Figura 4.7 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Parte alta de la ladera (humedad cercana a la saturación, sin sismo).</i>	159
<i>Figura 4.8 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Parte alta de la ladra (humedad cercana a la saturación, con sismo).</i>	160
<i>Figura 4.9 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Parte media de ladera (humedad normal, sin sismo).</i>	161
<i>Figura 4.10 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Parte media de ladera (humedad normal, con sismo).</i>	162
<i>Figura 4.11 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Parte media de ladera (humedad cercana a la saturación, sin sismo).</i>	163
<i>Figura 4.12 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Parte media de ladera (humedad cercana a la saturación, con sismo).</i>	164
<i>Figura 4.13 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Parte baja de ladera (humedad normal, sin sismo).</i>	165
<i>Figura 4.14 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Parte baja de ladera (humedad normal, con sismo).</i>	166
<i>Figura 4.15 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Parte baja de ladera (humedad cercana a la saturación, sin sismo).</i>	167
<i>Figura 4.16 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Parte baja de ladera (humedad cercana a la saturación, con sismo).</i>	168
<i>Figura 5.1 Manejo de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo.</i>	173

<i>Figura 5.2 Sección transversal propuesta para muro.</i>	176
<i>Figura 5.3 Resultado del software H-CANALES.</i>	176
<i>Figura 5.4 Predimensionamiento de vertedero Cipolletti.</i>	177
<i>Figura 5.5 Diseño hidráulico de la canaleta.</i>	179
<i>Figura 5.6 Ordenamiento territorial actual.</i>	183
<i>Figura 5.7 Tipo de vegetación según elevación del talud.</i>	185
<i>Figura 5.8 Hileras de vetiver.</i>	187
<i>Figura 5.9 Vetiver en zonas de deslizamientos.</i>	188
<i>Figura 5.10 Construcción de empalizadas con fajinas de vegetación.</i>	189
<i>Figura 5.11 Construcción de empalizadas con fajinas de vegetación, de dos años, utilizando sauces.</i>	190
<i>Figura 5.12 Fajinas vivas.</i>	191
<i>Figura 5.13 Macollos de zacate de limón.</i>	192
<i>Figura 5.14 Plantación de Izote usada como barrera viva.</i>	194
<i>Figura 5.15 Plantación de bambú.</i>	196
<i>Figura 5.16 Hileras de piñuelas en ladera.</i>	198
<i>Figura 5.17 Plan de reordenamiento territorial.</i>	201
<i>Figura 5.18 Croquis de ubicación del área de estudio.</i>	222

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1 Datos Descriptivos de lahares históricos del Volcán de San Miguel.</i>	26
<i>Tabla 2.2 Velocidad de los movimientos.</i>	36
<i>Tabla 2.3 Factores condicionantes de los movimientos de ladera.</i>	38
<i>Tabla 2.4 Factores desencadenantes de los movimientos de ladera.</i>	39
<i>Tabla 2.5 Factores influyentes en el comportamiento geomecánico de los materiales de las laderas y su relación.</i>	39
<i>Tabla 2.6 Identificación de los suelos (procedimiento visual-manual).</i>	44
<i>Tabla 2.7 Métodos de análisis de estabilidad de taludes.</i>	60
<i>Tabla 2.8 Métodos de análisis de estabilidad de taludes.</i>	61
<i>Tabla 2.9 Métodos de prevención de la amenaza o el riesgo.</i>	65
<i>Tabla 2.10 Métodos de elusión de amenaza de deslizamiento.</i>	66
<i>Tabla 2.11 Estructuras de control de masas en movimientos.</i>	66
<i>Tabla 3.1 División político-administrativa del cantón El Volcán, San Miguel.</i>	72
<i>Tabla 3.2 Distribución de la población del Cantón El Volcán.</i>	72
<i>Tabla 3.3 Población afectada de la comunidad los Carretos.</i>	73
<i>Tabla 3.4 Sistema de vivienda en el cantón El Volcán.</i>	75
<i>Tabla 3.5 Tipo de servicios sanitarios en el cantón El Volcán.</i>	76
<i>Tabla 3.6 Tipo de infraestructura en el cantón El Volcán.</i>	78
<i>Tabla 3.7 Duración aproximada de las estaciones.</i>	79
<i>Tabla 3.8 Descripción de los diferentes tipos de tierra.</i>	87
<i>Tabla 3.9 Normas ASTM utilizadas en los ensayos de campo.</i>	104
<i>Tabla 3.10 Normas ASTM utilizadas en los ensayos de laboratorio.</i>	106
<i>Tabla 3.11 Identificación de los suelos (procedimiento visual-manual).</i>	108
<i>Tabla 3.12 Resultados ensayo Visual manual.</i>	109
<i>Tabla 3.13 Resumen de resultados de pruebas de granulometría.</i>	111
<i>Tabla 3.14 Resumen de resultados del ensayo de corte directo.</i>	113
<i>Tabla 3.15 Valores de coeficiente de rugosidad.</i>	116
<i>Tabla 3.16 Datos de precipitaciones máximas anuales en estación San Miguel.</i>	120
<i>Tabla 3.17 Frecuencia de intensidades registradas en la estación San Miguel.</i>	122
<i>Tabla 3.18 Valores de intensidades máximas en mm/min.</i>	124
<i>Tabla 3.19 Valores de intensidades máximas en mm/h.</i>	124
<i>Tabla 3.20 Clasificación de cuencas según el coeficiente de forma.</i>	129
<i>Tabla 3.21 Intensidades de lluvia en mm/h para período de retorno de 10 años en punto de interés uno.</i>	133
<i>Tabla 3.22 Caudales pico para diferentes duraciones de lluvia en punto de interés uno.</i>	137
<i>Tabla 3.23 Intensidades de lluvia en mm/h para período de retorno de 10 años en punto de interés dos.</i>	141
<i>Tabla 3.24 Caudales pico para diferentes duraciones de lluvia en punto de interés dos.</i>	143
<i>Tabla 4.1 Factores mínimos de seguridad considerados en el análisis.</i>	147
<i>Tabla 4.2 Parámetros geotécnicos utilizados en análisis de estabilidad.</i>	149
<i>Tabla 4.3 Ecuaciones de equilibrio estático que satisface cada método de análisis.</i>	152
<i>Tabla 4.4 Cuadro resumen de resultado de Análisis de Estabilidad.</i>	169
<i>Tabla 5.1 Obras de mitigación de la amenaza por deslizamiento.</i>	174
<i>Tabla 5.2 Presupuesto de obras civiles.</i>	181
<i>Tabla 5.3 Distancia entre curvas según pendiente.</i>	187
<i>Tabla 5.4 Espaciamiento recomendado para fajinas vivas (Gray y Sotir, 1996).</i>	191
<i>Tabla 5.5 Presupuesto de conservación de suelo.</i>	211

## INTRODUCCIÓN

Los movimientos de ladera son uno de los fenómenos naturales más frecuentes en las zonas de montaña. El Salvador no se escapa de esta actividad; según lo observado nuestro país ha tenido una historia marcada de destrucción debido al azote de los fenómenos naturales; especialmente por deslizamientos de suelos.

Geológicamente hablando nuestro país es relativamente joven, posee tierras fértiles y abundante agua durante el período de lluvias, gran parte del territorio es afectado por agentes geológicos internos como la continua sismicidad que afecta prácticamente todo el país. La acción de la gravedad, el debilitamiento progresivo de los materiales, debido principalmente a la meteorización e intemperismo y la actuación de otros fenómenos naturales y ambientales, hacen que los movimientos del terreno sean relativamente habituales. Tal es el caso de la ladera noroeste del volcán Chaparrastique, cuyas comunidades se caracterizan por vivir en condiciones de riesgo.

Y es que el volcán Chaparrastique, según lo demuestran los registros históricos tiene antecedentes de desastres que han sido generados tanto por la combinación de fenómenos de origen climático y geológicos como por la adición de los efectos de la actividad irracional del ser humano. El saldo en costos sociales y económicos sobre todo de eventos históricos y recientes, es de una magnitud considerable.

En base a estudios previos efectuados por diferentes organismos especialmente por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales y más recientemente por JICA se ha identificado una alta susceptibilidad a los movimientos de ladera en los siguientes sectores Caserío Las Placitas (Chinameca), Caserío Piedra Azul (San Rafael Oriente), Cantón El Volcán (San Miguel); de los cuales el Sector de la Comunidad Los Carretos perteneciente al Cantón El volcán constituirán el área de estudio de esta investigación ya que según los resultados de los estudios que han realizado los organismos antes mencionados es la zona más vulnerable en la ocurrencia de cualquier tipo de fenómeno relacionado con el Volcán

Chaparrastique; además de la alta concentración poblacional de la zona (alrededor de 71 familias) y un Centro Escolar<sup>1</sup> que son los que se encuentran en el área de mayor riesgo por el flujo de lahares que pueda ocurrir, entendiendo como lahares la mezclas de lodo, sedimentos y escombros movilizados por agua lluvia, este riesgo ya existía ahora aunado a esto se presenta en el escenario la actividad volcánica del Chaparrastique que ha generado una mayor inestabilidad de los suelos convirtiendo esa área en posible zona de desastre.

Es importante destacar que los movimientos de masa, están asociados con varios tipos de procesos naturales y/o provocados por acciones de la población que dan como resultado el movimiento de los materiales que forman las laderas, el origen de las mismas puede ser terremotos, erupciones volcánicas, suelos saturados por lluvias intensas, entre otros.

Para entender cómo funciona la dinámica del movimiento de los taludes, es necesario realizar la caracterización de las laderas y de los sitios de estudios, en el cual se deben de considerar los aspectos geológicos, geomorfológicos, climáticos, hidrológicos y de uso del suelo que ayudaran a determinar los factores que están influyendo en el desencadenamiento de los movimientos de masa en la zona. También es importante conocer las características físicas y mecánicas de los suelos a través de la realización de ensayos de laboratorio y de campo para conocer el comportamiento que tendrá el suelo bajo ciertas condiciones.

Toda la información obtenida servirá como insumo para la identificación de los mecanismos de inestabilidad de las posibles superficies de falla haciendo uso de criterios de equilibrio límite para finalmente realizar el mapeo de riesgo de la zona además de diseñar un sistema de control o estabilización para las laderas afectadas por esta problemática, proveyendo también una hoja de cálculo que nos permita realizar una caracterización cualitativa del riesgo de una ladera.

---

<sup>1</sup> Protección Civil San Miguel, **Censo de población Volcán Chaparrastique**. El Salvador 2013

# **1. ANTEPROYECTO**

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1.1. ANTECEDENTES

En El Salvador, dada su situación geográfica y geológica, son comunes los fenómenos sísmicos, volcánicos e hidrometeorológicos que causan grandes pérdidas humanas y materiales.

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

El problema de estabilidad de taludes se ha dado en el país desde siempre, sin embargo las investigaciones referidas a la problemática han adquirido mayor importancia a partir de la tragedia del 13 de enero de 2001 en la Colonia Las Colinas en Santa Tecla, en la cual, una parte de la cordillera del Bálsamo se desplazó en forma de flujo de lodo, avanzando aproximadamente 500 metros y ocasionando la muerte de alrededor de 500 personas y la destrucción de 300 viviendas<sup>1</sup>.



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

---

<sup>1</sup>Servicio Nacional de Estudios Territoriales SNET, **Gestión de Riesgos**, El Salvador 2001



Además a consecuencia del terremoto del 13 de Febrero del 2001, en el tramo de la carretera panamericana comprendido entre los km. 50+860 y km. 55+280, zona conocida como curva La Leona, se produjo un deslizamiento de aproximadamente 4,000 mt<sup>3</sup> que obstruyó completamente la carretera y causó la pérdida de vidas humanas<sup>2</sup>.



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

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.



*Figura 1.3 Flujo de lodo y piedra en Verapaz San Vicente (Febrero 2009).*

---

<sup>2</sup> Unidad de Investigación y Desarrollo Vial UIDV. **Monitoreo de los Taludes de la Carretera CA-1, en la Zona de la Curva de la Leona.** El Salvador. Ministerio de Obras Públicas MOP 2001.

Desde el año 2001 se han presentado numerosos deslizamientos de tierra en las laderas del volcán Chaparrastique que afecta directamente a la comunidad Los Carretos.



*Figura 1.5 Deslizamiento de material volcánico que impidió el paso vehicular en la zona del volcán (Julio 2013).*



*Figura 1.4 Deslizamiento de tierra en el Volcán Chaparrastique (20 de Mayo de 2014).*

Los casos descritos son ejemplos relevantes de inestabilidad de laderas que han cobrado innumerables vidas humanas y muchas pérdidas materiales, lo que ha motivado al estudio de estabilidad e inestabilidad de laderas para plantear posibles soluciones a estos problemas.

Con el objeto de disminuir los impactos ocasionados por los eventos naturales (deslizamientos, inundaciones, etc.) se han desarrollado investigaciones en diferentes lugares del país; bajo este contexto se han realizado una serie de trabajos, entre estos el “Plan de Emergencias y Gestión de Riesgos”, promovido por Organizaciones no gubernamentales (ONG’s), “Análisis de Amenazas Naturales y Gestión de Riesgos en la Zona Oriental”, desarrollado por un equipo multidisciplinario apoyado por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), la Cooperación Suiza para el desarrollo (COSUDE) y la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador (UES – FMO).

Estos documentos presentan planes preventivos contra el desastre, además de la caracterización de amenazas y la elaboración de una propuesta para reducir el riesgo en las laderas del volcán Chaparrastique, a través de la realización de una serie de acciones. Dentro de los principales resultados que se obtuvieron están: Identificación de zonas de riesgo por amenazas de inundaciones, deslizamientos, deslaves e inestabilidad de laderas; la elaboración de fichas por zona de riesgo, mapas de amenazas (ver Figura 1.6) y las condiciones de vulnerabilidad de las comunidades.

Se realizaron también en el 2004 en los cantones El Volcán y El Conacastal, capacitaciones y obras de mitigación debido a que todos los años bajaba arena y piedras del Chaparrastique, dejando la calle cubierta e incomunicando hacia los municipios de San Rafael Oriente y San Jorge. Geólogos del Mundo se encargó del proyecto; se construyeron resumideros y muros para detener el afluente de material pétreo. Sin embargo, dicho proyecto requiere que se le de mantenimiento constantemente.

En base a toda la información encontrada de las investigaciones anteriores realizadas en el área de estudio se considera que existe la necesidad de desarrollar un estudio más detallado que nos permita realizar un mapa de zonas de riesgo apegado a la realidad de cada sector y una evaluación sistemática cualitativa de la magnitud del riesgo con la finalidad de generar, además, diseños de obras civiles que disminuyan el riesgo o el impacto de los desastres en la población y generar una hoja de cálculo que permita caracterizar cualitativamente las laderas.

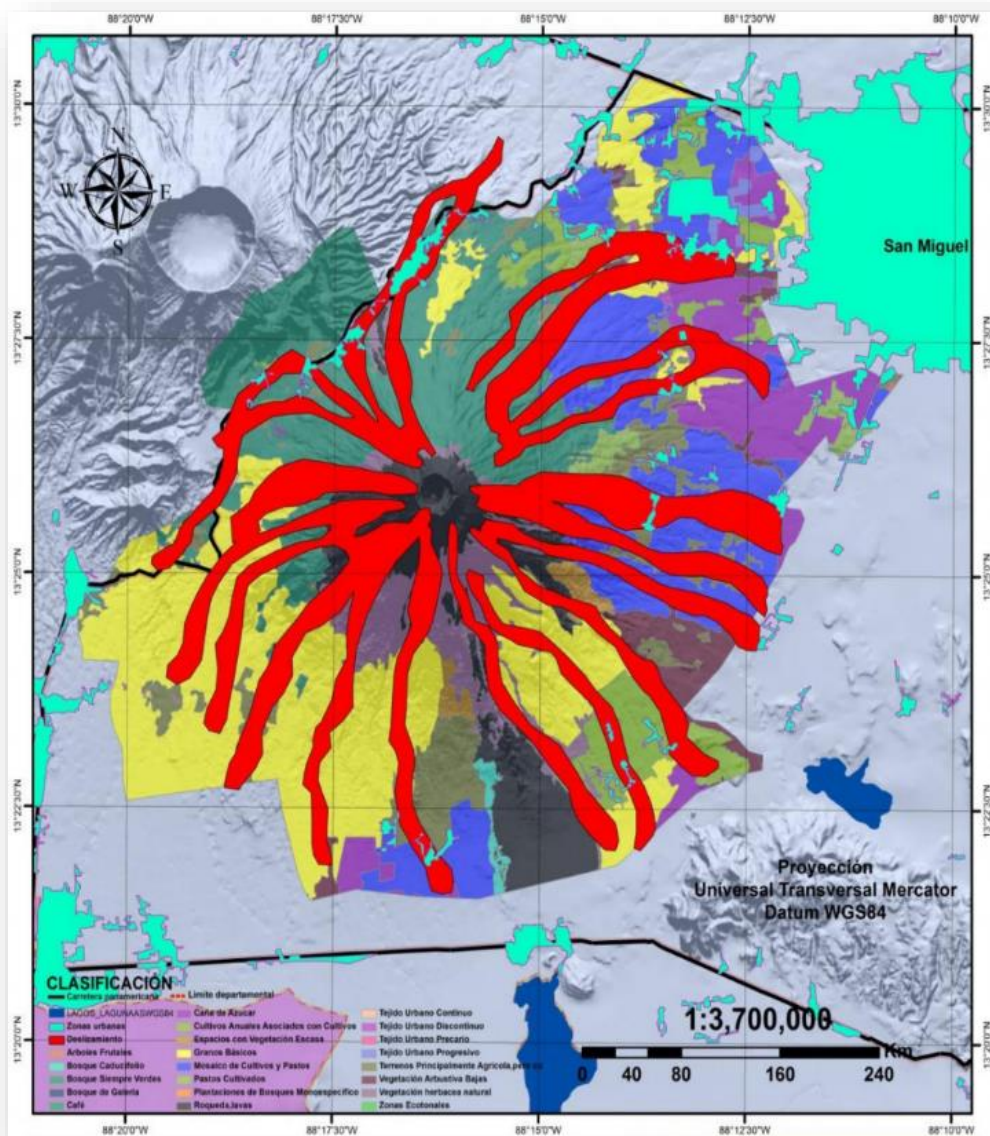


Figura 1.6 Evaluación de deslizamientos de tierra en volcán Chaparrastique.

### **1.1.2. ENUNCIADO DEL PROBLEMA**

En el volcán Chaparrastique muchas de las comunidades rurales están formadas por familias de escasos ingresos económicos que no alcanzan a cubrir sus necesidades básicas y que se caracterizan por ocupar viviendas frágiles. Esto aunado a que las prácticas más comunes de los pobladores es la corta, quema y tala indiscriminada efectuada para preparar los terrenos para el cultivo, provocan pérdida de cobertura vegetal y exponen la superficie del suelo al impacto directo de la lluvia, el viento y el sol; lo que incrementa la erosión y el deterioro del suelo, por lo que la escorrentía penetra produciendo fisuras, grietas y cárcavas, facilitando de esta manera la ocurrencia de lahares de escombros.

Los lahares que descienden por las laderas del volcán provocan, año con año, en período lluvioso, daños en las vías de acceso, viviendas, infraestructura social, sector agrícola y cafetalero; en casos extremos, causan lesiones en las personas y/o la pérdida de vidas humanas. También causan un fuerte impacto en la fauna y flora del lugar, ya que dañan el ecosistema y aumentan la deforestación y erosión existentes.

La comunidad Los Carretos; ubicada en el cauce de los lahares del volcán Chaparrastique, se ve gravemente afectada por los deslizamientos de los mismos. Estos han causado daños en la infraestructura, afectando viviendas y vías de transporte; en el sector agrícola y cafetalero ha causado grandes pérdidas, afectando la economía de los pobladores; y finalmente, ha causado lesiones en las personas, afectando la integridad física de las mismas.

Es importante reconocer las principales amenazas (naturales y antrópicas) que influyen en la ocurrencia de lahares y afectan la comunidad El Carreto, así como definir las áreas críticas o de mayor riesgo a la ocurrencia de un evento de desastre y de esta manera tener una idea que oriente a la gestión de riesgo en la zona.

### 1.1.3. JUSTIFICACIÓN

El tema del riesgo ha tomado mucha importancia en el país a raíz de los daños materiales y pérdidas de vidas humanas causadas por los eventos naturales como el huracán Mitch en 1998 y los terremotos del 2001.

Por lo que en los últimos años se han desarrollado estudios enfocados a disminuir o mitigar los riesgos existentes, partiendo de que el conocimiento sobre riesgos constituye la base tanto para la toma de decisiones, como para la incorporación del criterio de prevención y mitigación, es necesario profundizar en el conocimiento de las amenazas y grado de vulnerabilidad.

El volcán Chaparrastique ha tenido una historia marcada por la destrucción de la infraestructura ubicada sobre sus sobre el mismo, provocada por terremotos y deslizamientos de tierra. Los terremotos de enero y febrero del 2001 fueron los que mayor impacto y destrucción han causado en su historia reciente.

Los deslizamientos de tierra se han venido incrementando desde hace unos 9 años, principalmente en las partes más altas en las cuales existen aberturas o grietas que paulatinamente han aumentado su ancho, lo que ha provocado pérdidas de vidas humanas, además de afectar considerablemente el sector agrícola y de vivienda. La zona rural se ve amenazada y afectada por los derrumbes, el deterioro de sus principales calles y las crecidas de agua, que cada día son mayores. En los últimos deslizamientos, miles de metros cúbicos de tierra provocaron una inmensa nube de polvo que soterró algunas comunidades y sepultó a cinco pobladores, socavando al mismo tiempo todas las vías de acceso<sup>3</sup>.

Protección Civil y otros organismos tanto gubernamentales como de carácter privado expresan la necesidad urgente de proporcionar soluciones civiles que permitan estabilizar

---

<sup>3</sup> Prensa Gráfica, **Emiten alerta naranja en volcán Chaparrastique**. El Salvador, 14 de Junio de 2013

las laderas de la zona y se pueda brindar a los pobladores del sector la protección adecuada ante este tipo de desastres.

Luego de las dos erupciones del coloso de San Miguel ocurridas el 29 de diciembre de 2013 y el 12 de febrero de 2014, la zona es más susceptible a la ocurrencia de deslizamientos de tierra. De acuerdo con el titular del MARN “los deslizamientos se pueden presentar por lluvia, o por un sismo fuerte, como el que ocurrió previo al deslizamiento en Las Colinas”- También se advierte sobre un posible deslizamiento que afectaría directamente a los pobladores de la comunidad Los Carretos, ya que existe un área de inestabilidad de 162,500 m<sup>2</sup> en la parte alta de la ladera que generaría un volumen de 30 mil metros cúbicos, además se debe considerar que la velocidad que pueden alcanzar los flujos de escombros en caso de un deslizamiento es de más de 100 kilómetros por hora.<sup>4</sup>

Por lo tanto, es necesario realizar una investigación y evaluación más detallada, en la cual se tomen en cuenta las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, las características geomorfológicas del área de estudio, las condiciones hidrológicas y la topografía del lugar con el fin de obtener los parámetros de diseño para las obras de estabilización que permitan mitigar los efectos de la amenaza.

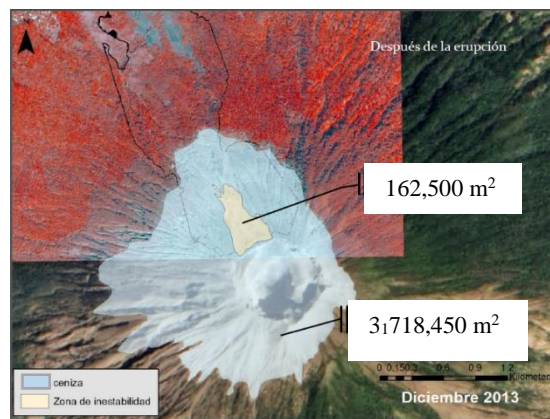


Figura 1.7 Área de inestabilidad proximal sobre parte del cráter, lahar sobre la quebrada La Arenera.

---

<sup>4</sup> Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, **Deslizamientos de tierra son el mayor riesgo en la zona del volcán Chaparrastique**. El Salvador, 14 de Febrero de 2014

## **1.2. DELIMITACIONES**

### **1.2.1. ALCANCES**

- ✓ La investigación abarcó la ladera noroeste del volcán Chaparrastique en la comunidad Los Carretos, Cantón el Volcán, Municipio de San Miguel, haciendo énfasis en tres de sus quebradas las cuales representan la mayor amenaza por deslizamiento según los mapas elaborados por el Observatorio Ambiental.
- ✓ Se extrajeron muestras de suelos alteradas para realizar las siguientes pruebas: descripción visual-manual, clasificación de los suelos, densidad de campo, granulometría, límites de Atterberg y corte directo; debido a las características de los materiales que conforman la ladera.
- ✓ Se realizó el levantamiento topográfico con estación total y GPS para conocer la conformación topográfica de la ladera.
- ✓ Se presentan planos topográficos y de predimensionamiento de obras de estabilización.
- ✓ Se calculó el factor de seguridad utilizando el software GeoStudio 2004 (Slope/W) para obtener datos más precisos sobre la condición de estabilidad o inestabilidad de la ladera.
- ✓ El tipo de medidas que se proponen son el diseño de obras civiles para la estabilización de los taludes (muro derivador de flujo y canaleta) y medidas de conservación de suelos.
- ✓ Se presenta un plan de reordenamiento territorial en el área de estudio con el cual se pretende disminuir la amenaza de deslizamiento y la vulnerabilidad del sector afectado.
- ✓ Finalmente se efectuó un modelo de análisis y evaluación cualitativa y cuantitativa de la situación del riesgo en el lugar que servirá como un instrumento de medición de riesgo, estadístico y de alerta temprana.



### 1.2.2. LIMITACIONES

- ✓ El uso del laboratorio de suelos de la Universidad de El Salvador estuvo limitado por la programación proporcionada por el Jefe del Laboratorio y la Junta Directiva.
- ✓ El ensayo de corte directo se realizó en el laboratorio de la Universidad de El Salvador sede central, ya que la Facultad Multidisciplinaria Oriental no cuenta con el equipo necesario para efectuar dicho ensayo.
- ✓ Los datos fueron tomados en época seca, que comprende el período de noviembre a abril, debido a que en época lluviosa la amenaza de deslizamiento aumenta considerablemente.
- ✓ Para determinar la altura de la superficie de falla se utilizó el software AutoCAD Civil 3D, ya que el acceso a la zona donde inicia la falla en la parte alta del volcán está restringido debido a la fragilidad del terreno y a un alto grado de ocurrencia de deslizamientos.
- ✓ El análisis hidrológico se realizó a nivel de microcuenca.
- ✓ En el estudio hidrológico de la cuenca se utilizaron los promedios máximos anuales de lluvias para identificar los límites máximos que alcanzará el agua en la ladera; dichos datos no son de carácter público por lo que fueron solicitados al Observatorio Ambiental.
- ✓ El tipo de suelo, a simple vista, parece no ser cohesivo; esta característica dificulta la obtención de muestras inalteradas, por lo que en cada uno de los ensayos de laboratorio se utilizaron tomas de muestras alteradas.
- ✓ La ladera noroeste del volcán Chaparrastique presenta pendientes con mucha inclinación y terrenos accidentados de difícil acceso.
- ✓ Amenaza constante de posible erupción del volcán Chaparrastique.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. GENERAL**

- ✓ Caracterizar y evaluar los movimientos de ladera y proponer medidas de estabilización en la ladera noroeste del volcán Chaparrastique, comunidad Los Carretos, Cantón El Volcán, San Miguel.

#### **1.3.2. ESPECÍFICOS**

- ✓ Realizar un levantamiento topográfico para conocer las características geomorfológicas del área de estudio, las cuales sirven de base para el análisis hidrológico y de estabilidad.
- ✓ Realizar pruebas in situ y ensayos de laboratorio, para conocer las propiedades físicas y mecánicas de los suelos en cada una de las quebradas analizadas.
- ✓ Conocer, mediante un análisis de estabilidad, el factor de seguridad del área de estudio; y compararlo con los parámetros mínimos establecidos en la Norma Técnica para Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes para determinar su grado de estabilidad.
- ✓ Elaborar un análisis hidrológico para determinar el caudal máximo de sedimentos y agua que puede presentarse en los puntos de interés para el diseño posterior de obras civiles.
- ✓ Diseñar obras civiles para la estabilización o mitigación del riesgo de deslizamiento en la ladera; el cual consistirá en el predimensionamiento, presupuesto y ubicación de las obras que se adecuen a cada caso.
- ✓ Elaborar un instrumento de medición de riesgo por deslizamiento; y aplicarlo en la zona de estudio de esta investigación, generando una evaluación cualitativa y cuantitativa de riesgo.
- ✓ Elaborar una propuesta de plan de reordenamiento territorial, uso y conservación de suelos en la zona evaluada.

## 1.4. MARCO METODOLÓGICO

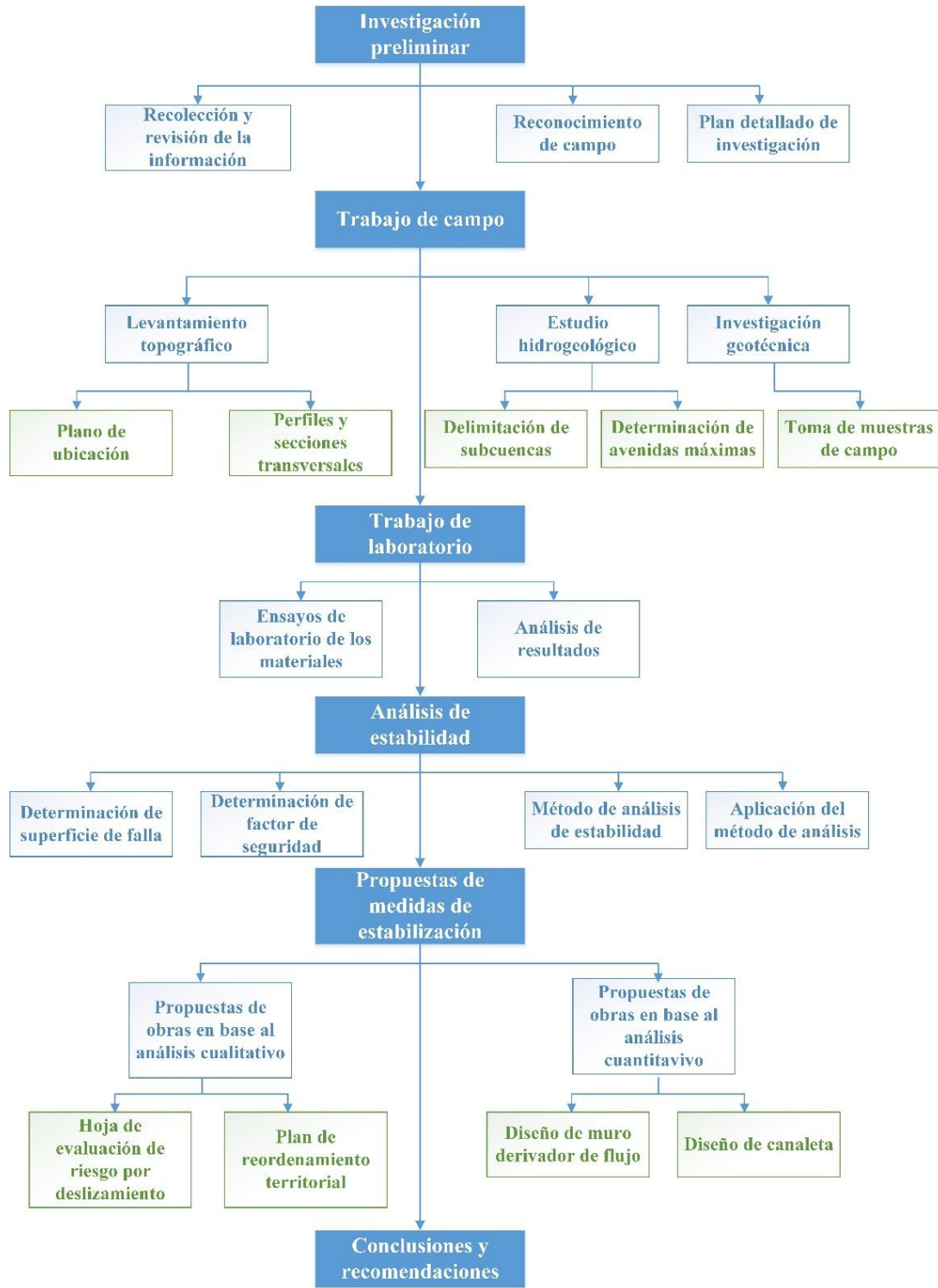


Figura 1.8 Diagrama de flujo para la investigación y análisis de deslizamiento.

### **1.4.1. ORGANIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Para la ejecución del presente estudio se han determinado cuatro fases de trabajo centradas en:

1. Investigación preliminar
2. Trabajo de campo
3. Trabajo de laboratorio
4. Trabajo de gabinete.

Estas fases se subdividen de la manera siguiente:

#### **Investigación Preliminar.**

- a. Recolección de información existente.

Se hizo una recopilación de estudios realizados en la zona, mapas topográficos, geológicos, pendientes, usos de suelo, climatología, datos de precipitación, estudios sobre deslizamientos de laderas en el área de estudio y otros factores que pueden influir de manera determinante en el estudio a realizar. Para lo cual se consultó con instituciones locales, nacionales e internacionales, que aportaron información sobre el tema de investigación.

- b. Reconocimiento e identificación del sitio.

El área visitada incluye las laderas afectadas o que se requieren analizar y las regiones adyacentes que pueden contribuir en las causas de los movimientos.

En base a que esta investigación es de tipo descriptiva, fue necesario realizar una serie de visitas de campo, y así conocer de primera mano la problemática del lugar.

Las visitas realizadas son las siguientes:

- ✓ Visitas Preliminares: Se realizaron tres visitas preliminares debido al tamaño de la zona a estudiar. Se llaman preliminares debido a que se ejecutaron antes de los estudios detallados.
- ✓ Visitas para realizar el levantamiento topográfico.
- ✓ Visitas para la extracción de muestras, realización de sondeos, etc.

### **Trabajo de campo**

#### a. Levantamiento Topográfico.

Se efectuó un levantamiento topográfico para obtener los parámetros geométricos y geomorfológicos de la ladera, en el cual se incluyen las zonas afectadas y los lugares aledaños, curvas de nivel a cada 50 m, perfiles de elevación, croquis de ubicación, etc.

Los instrumentos utilizados en la ejecución de dicho estudio son los siguientes:

- ✓ Brújula: se utilizó para direccionar con el Norte Magnético.
- ✓ GPS: Sistema de Posicionamiento Global, es un sistema global de navegación por satélite (GNSS) con el cual se obtuvieron las coordenadas y de esta manera se referenciaron con los cuadrantes existentes.
- ✓ Cinta Métrica (50 m): se utilizó para realizar mediciones de distancias.
- ✓ Machete: fue necesario para el labrado de los trompos así como para limpiar la visibilidad del que maneja la estación total.
- ✓ Spray de colores fluorescentes: necesario para la ubicación de los estacionamientos.
- ✓ 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.
- ✓ Cámara Fotográfica: se utilizó para llevar una memoria fotográfica del estudio topográfico.

Con todos estos instrumentos se midieron 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.

b. Toma de muestras de campo.

Incluye sondeos, toma de muestras, y ensayos in situ para cuantificar los parámetros del suelo.

Esta investigación consistió en la extracción de muestras alteradas de suelos y la realización del ensayo de densidad de campo (ASTM-D1556). Las muestras extraídas se emplearon para su posterior análisis en laboratorio.

c. Estudio Hidrológico.

Sirve para obtener los caudales que pasan por la cuenca. Para efectuar dicho estudio fue necesario haber completado el estudio topográfico y una parte del estudio de suelos (obtención de propiedades físicas).

En el desarrollo y ejecución del estudio hidrológico no se necesitaron instrumentos para recolectar datos de campo, ya que este se realizó 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 recolectó 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.

d. Investigación Geotécnica.

Habiendo completado el estudio topográfico se procedió a realizar el estudio de suelos, señalando en el plano la ubicación de los sondeos que se realizaron, este estudio busca

obtener las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, así como también la clasificación del tipo de suelo que existe en el lugar; para esto se realizó una serie de pruebas de laboratorio cumpliendo con dicho objetivo.

Algunos instrumentos utilizados para la recolección de información geotécnica son:

- ✓ GPS
- ✓ Cinta Métrica
- ✓ Libreta de campo
- ✓ Vehículo
- ✓ Cámara Fotográfica
- ✓ Equipo para obtener muestras alteradas de suelos
- ✓ Equipo para realizar la densidad de campo según la norma ASTM D-1556

### **Trabajo de Laboratorio**

- a. Investigación de Laboratorio.

Se realizaron los siguientes ensayos y muestreos planteados preliminarmente para esta investigación:

- ✓ Clasificación Visual manual de los suelos ASTM D-2488
- ✓ Clasificación de los suelos para usos ingenieriles ASTM D-2487
- ✓ Humedad o contenido de agua ASTM D-2216
- ✓ Límites de Atterberg o plasticidad ASTM D-4318
- ✓ Distribución granulométrica ASTM D-422
- ✓ Ensayo de Corte Directo ASTM D-3080

### **Trabajo de gabinete**

- a. Análisis de resultados.

Una vez recopilada la información obtenida a partir de los ensayos in situ y en laboratorio, se procedió a su tabulación, análisis e interpretación.

De igual manera elaboraron 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.

En el trabajo de gabinete se efectuaron las siguientes fases:

b. Análisis de Estabilidad.

Para este efecto se aplicó uno de los métodos convencionales de análisis utilizando el software GeoStudio 2004 (Slope/W).

A partir del análisis de la información obtenida, se determinaron las zonas de inestabilidad en la ladera.

c. Propuestas de medidas de Estabilización.

En este apartado de la investigación se realizó el diseño de las obras de estabilización, tanto cualitativas como cuantitativas.

1. Propuestas de obras en base al análisis cualitativo de la problemática.

Elaboración de un plan de reordenamiento territorial del área de estudio.

Elaboración de una hoja para la caracterización del movimiento de una ladera.

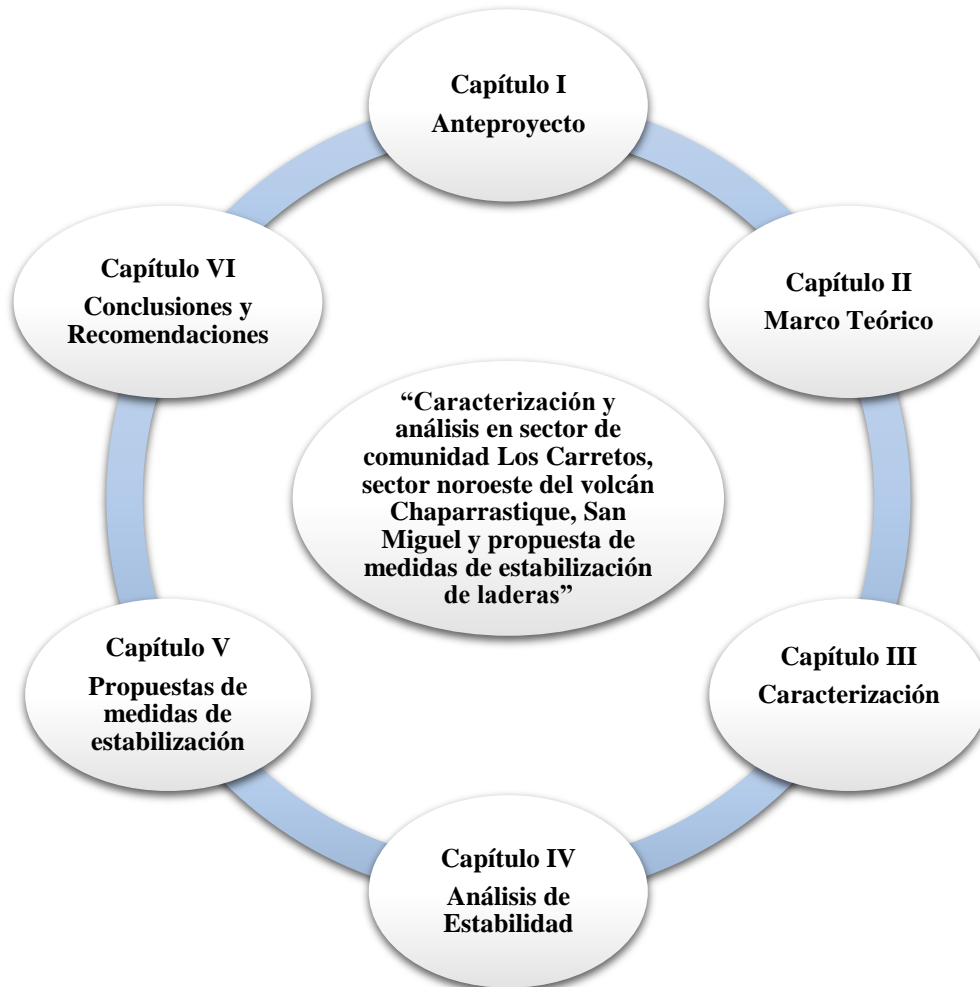
2. Propuestas de obras en base al análisis cuantitativo de la problemática.

Propuestas de conservación de los suelos (reforestación, barreras vivas, barreras muertas, terrazas, etc.).

Diseños de muro derivador de flujo y canaleta trapezoidal.



## 1.4.2. PRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN



*Figura 1.9 Diagrama de presentación de la investigación.*

Capítulo I: Está constituido por el “Anteproyecto”, que es la base de la investigación y está compuesto por el planteamiento del problema, los antecedentes, el enunciado del problema, la justificación, la delimitación, los objetivos, y la metodología que se siguió para llevar a cabo el estudio.

Capítulo II: El segundo capítulo es denominado “Marco Teórico” y se refiere a una serie de descripciones acerca del tema en estudio y es indispensable para el desarrollo de la investigación, ya que esto servirá al lector para familiarizarse con la terminología y conceptos que se utilizarán en el transcurso de dicho estudio.

Capítulo III: Este capítulo comprende la “Caracterización” y ha sido dedicado para exponer todos los aspectos necesarios e importantes que permitan entender la situación de la zona de estudio y conocer el ambiente de vulnerabilidad en el que se desarrolla el fenómeno, así como las propiedades físico-mecánicas del suelo del que está constituida la ladera.

Capítulo IV: EL capítulo cuatro está designado con el nombre de “Análisis de Estabilidad”. El objetivo del mismo es encontrar el factor de seguridad (FS) mínimo para conocer las condiciones de estabilidad o inestabilidad de la ladera y ser considerado para la toma de decisiones en la etapa de diseño. Al final de capítulo se presenta el análisis e interpretación de los resultados.

Capítulo V: Este capítulo está constituido por “Las Propuestas de medidas de Estabilización” y en él se aborda el diseño de las obras en la ladera analizada, tomando en consideración aquellas opciones que pudieran brindar grandes beneficios al menor costo, además que pudieran en todos los casos armonizar con la naturaleza y el medio ambiente. Entre las alternativas se proponen algunos sistemas cuya misión es la de estabilizar y reforzar superficialmente la ladera, con el fin de crear un efecto estabilizante en las zonas críticas (inestables) de la ladera y controlar deslizamientos que represente un gran peligro para la comunidad de Los Carretos.

Capítulo VI: En este capítulo se dan a conocer las “Conclusiones y Recomendaciones” a las que se llegó sobre el tema que se está investigando.

## **1.5. MARCO NORMATIVO**

La obligación inherente a los estados de procurar asistencia humanitaria para la población afectada por desastres de cualquier origen, tiene su sustento en la siguiente normativa regional e internacional:

Instrumentos Regionales e Internacionales:

Los Convenios de Ginebra y sus Protocolos, I y II de 1949, en especial.

La Declaración Universal de los Derechos Humanos.

La Resolución 46/182 de la Asamblea General de las Naciones Unidas

El Derecho Internacional Humanitario Consuetudinario.

El Marco Estratégico para la Reducción de la Vulnerabilidad y los Desastres en Centroamérica, Guatemala 1999.

La Declaración de Quebec, del 22 de abril de 2001.

La Conferencia Mundial de Reducción de Desastres, Hyogo, Japón, enero de 2005

La Constitución de El Salvador no establece ninguna disposición relacionada específicamente con los desastres, salvo la suspensión de ciertos derechos o garantías en caso de “catástrofe, epidemia u otra calamidad”, en su artículo 29.

Principios y derechos

Existen una serie de principios y derechos a partir de los cuales el legislador y la administración pública pueden regular esta situación. Entre ellos, el artículo 2 de la Constitución reconoce el derecho a la vida y a la integridad física y su necesaria defensa.

Sistema de Protección Civil, que busca cumplir los objetivos siguientes:

- ✓ Prevenir daños y cuando éstos ocurrieren, disminuir su magnitud.
- ✓ Ayudar a la población afectada.

- ✓ Procurar la continuidad de los servicios públicos.
- ✓ Obtener de la población afectada y de todos los sectores del país la necesaria colaboración para realizar la Defensa Civil.
- ✓ Para esta ley, los desastres o calamidades públicas son consecuencia de fenómenos físicos o naturales, acciones armadas o de trastornos sociales que afectaren el orden público, el normal desarrollo de las actividades económicas en la República o la vida, salud o patrimonio de sus habitantes.
- ✓ Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador de 1994.
- ✓ Ley de Prevención y Mitigación de Desastres y Protección Civil

## **2. MARCO TEÓRICO**

## **2.1. MARCO REFERENCIAL.**

### **2.1.1. MARCO HISTÓRICO**

El volcán de San Miguel, también conocido como Chaparrastique, forma parte de la cadena volcánica de El Salvador, es uno de los más activos en Centroamérica.

Se encuentra por encima de las comunidades de San Miguel, El Tránsito, San Rafael Oriente y San Jorge; también existen varias comunidades pequeñas y plantaciones de café que se ubican sobre o en los alrededores de los flancos del volcán, la carretera Panamericana y la autopista costera cruzan los flancos más bajos del norte y sur del volcán Chaparrastique.

Desde la fundación de la ciudad de San Miguel, en 1530, el volcán ha producido ocho flujos de lava a través de fisuras en las laderas del cono volcánico. La erupción más recordada ocurrió en 1762, cuando la lava se dirigió a la ciudad de San Miguel y la última ocurrida el 29 de diciembre del 2013.

El Chaparrastique, en términos geológicos es un edificio volcánico estratificado de 2,129 metros de altura y unos 13 km de perímetro, cuyo magnífico cráter presenta un diámetro medio de 400 m. Está compuesto por materiales piroclásticos: lapilli, cenizas y coladas de lava de composición andesítica y basáltica procedentes de la fusión de corteza oceánica.

Fisiográficamente, se encuentra situado en la mitad oriental de la cordillera volcánica salvadoreña, siendo este el volcán más activo de la zona oriental. Sus laderas alcanzan pendientes de hasta un 75% en las zonas más altas y entre un 15 y 30 % en las zonas que conforman el pie de las mismas.

Entre las amenazas naturales presentes en su zona de influencia están el peligro de: erupción, temblores, incendios, y la formación de lahares que tras las precipitaciones torrenciales, que tienen lugar todos los años en los meses de invierno (mayo-noviembre), se precipitan por sus laderas afectando a los cultivos y asentamientos humanos próximos al edificio volcánico.

Posterior al fin de la guerra en El Salvador, se fueron revitalizando los cultivos de café, lo que dio lugar al asentamiento incontrolado de jornaleros en lugares próximos a las fincas y, por lo tanto, en lugares “no reclamados” de las laderas del volcán. Este aumento de población, actualmente estimado en 13,873 habitantes, ha hecho que se ocupen espacios con una elevada peligrosidad natural, lo que conlleva que, dado el carácter vulnerable de las construcciones, infraestructuras y grupos sociales que se asientan en estas áreas, el riesgo sea muy alto.

Así, en los últimos veinte años se vienen repitiendo fenómenos catastróficos provocados por la avenida de lahares que, repetidamente durante los siete meses de lluvias, descienden desde las partes altas del flanco noroeste del volcán (ver Figura 2.1) arrastrando materiales sueltos, bloques de colada fracturada, vegetación, etc., a gran velocidad. Estos flujos discurren y pierden su carga en las partes bajas y con menos pendiente del volcán donde se asienta la población, destruyendo infraestructuras, casas y provocando, además, cortes en las carreteras. Estos lahares, con características de flujos de derrubios hiperconcentrados, tienen su origen en zonas altas afectadas por una gran erosión, condicionada y acelerada por la deforestación y los incendios, a menudo intencionados forman depósitos con mezcla de materiales de tamaño de grava, arena y limo que, dependiendo de la energía de la avenida y de su situación espacial en el área de sedimentación, adquieren diferentes dimensiones, estructuras, tamaños y alcances. Cabe mencionar que en eventos importantes producidos por lluvias intensas se han producido lahares con carga de bloques de hasta 1.0 metro de diámetro que descendieron hasta las zonas en riesgo.

Históricamente los flujos de escombros que han descendido del volcán Chaparrastique por la Quebrada La Arenera, en el sector norte del volcán, en dirección NNW afectan a los habitantes de los caseríos: Los Carretos (cantón El Volcán, municipio de San Miguel), Las Placitas (cantón Conacastal, municipio de Chinameca) y a la infraestructura que se

encuentra sobre el sector de la carretera que une la Panamericana y la Litoral pasando por San Jorge (ver tabla 2.1).



Figura 2.1 Nube de cenizas y grietas en laderas del Volcán Chaparrastique (Diciembre 2013).

Tabla 2.1 Datos Descriptivos de lahares históricos del Volcán de San Miguel.

Fecha	Quebrada	Origen	Sedimentos (potencia)	Desborde	Daños
19/06/1945	Quebradona	Fuerte tormenta	-	sí	Casas y calles aterradas
06/05/1951	La Silvia y M <sup>a</sup> Chávez	Lluvia fuerte	Arena y lodo (1 m)	sí	Aterramiento de calle
05/1965	La Arenera	Lluvia muy fuerte	Bloques y Lapilli (2 m)	sí	Casas y calles aterradas
15/09/1965	La Arena	Lluvia fuerte en el cerro	(1m)	-	-
08/05/1975	La Piedrita	Lluvia	Arenas, material fino ( 1m)	no	Niña muerta
07/05/1985	La Placita	Lluvia	Gravas, arenas y algún bloque (1.5 m)	sí	Casa aterrada
28/09/1992	La Arenera	Lluvia	Estación 5000 pies ( 1.5 m)	sí	Corte de calle y casas soterradas
26/08/2000	La Arenera	Lluvia fuerte en el cerro	Gravas, arenas, palos y bloques (1.5 m)	Sí (2-3 de la madrugada)	Corte de calle y casas soterradas
06/09/2001	La Arenera	Lluvia	Arenas y gravas	no	Relleno de borda de contención

Fuente: “Estudio de Caracterización de Amenaza por Lahares en el Volcán de San Miguel”. Geólogos del Mundo, 2001. Proyecto DIPECHO II



De acuerdo a observaciones de campo, se ha determinado que algunos drenajes del sector poniente y sur poniente del volcán, son bastante propensos a transportar flujos de escombros, entre ellos: La Quebradona, La Piedra, La Piedrona, La Ceiba, El Clavo y El Llano. En todas las quebradas antes mencionadas existen depósitos de lahares endurecidos con espesores máximos de 1.5 metros, a distancias que varían de 3.5 a 10 kilómetros del cráter.

Se observó también que los flancos sureste y noreste del volcán son menos susceptibles a producir lahares, debido a que no existe una gran acumulación de escorias y rocas sueltas en estos sectores. Sin embargo, es posible la ocurrencia de algunas inundaciones en la ciudad de San Miguel ocasionadas por crecidas que bajan por las quebradas del flanco oriental del volcán, durante inviernos copiosos como fue el de 2004.

Ninguno de los flujos de escombros de los que se tiene conocimiento ha estado asociado con actividad eruptiva. El principal factor desencadenante de los lahares ocurridos en el Volcán Chaparrastique son lluvias fuertes e intensas.

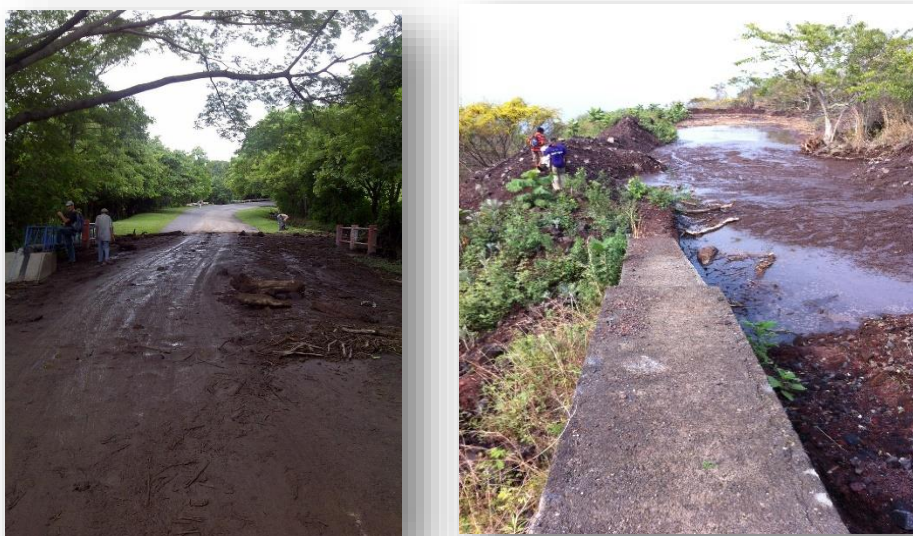


*Figura 2.2 Ladera Noroeste del Volcán es considerada la zona más crítica (enero 2014).*

### 2.1.2. RESEÑA DE OBRAS EXISTENTES

Los muros de derivación que existen a lo largo de la quebrada La Arenera fueron construidos a través de una empresa de ingeniería que contrató mano de obra comunitaria. Las obras realizadas consistieron en dos muros de derivación de flujos de escombros de 30 y 50 metros de longitud en las cotas 1,013 y 952 m.s.n.m., a través del financiamiento de FONAES (Fondo Ambiental de El Salvador, gestionado por el Ministerio de Medio Ambiente de El Salvador) y la cooperación gubernamental canadiense, durante los meses de julio y agosto de 2002.

En los últimos años la función de los muros ha venido en detrimento, esto debido al aumento del volumen de sedimentos y escombros que descienden desde la parte alta de la quebrada, provocando que los lahares alcancen las zonas de asentamiento humano, generando pérdidas económicas y de infraestructura. Tal como se observó el día 11 de agosto de 2014, con solo 27 milímetros de lluvia acumulada en 20 minutos, provocó la saturación de los muros existentes y daños en las viviendas de los habitantes de la comunidad Los Carretos; así como también el cierre parcial de un tramo de calle que de San Miguel conduce a San Jorge debido al desplazamiento del flujo sobre la misma.



*Figura 2.3 Infraestructura afectada luego de la lluvia del día 11-08-2014.*

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. MOVIMIENTO EN MASA O DE LADERAS**

Es la caída o deslizamiento descendente de una masa relativamente seca de tierra, roca o mezcla de ambas, impulsados por su propio peso bajo la acción directa de la gravedad y por otros factores. Los movimientos de ladera constituyen uno de los principales mecanismos de erosión y transporte en áreas de montaña y uno de los riesgos geológicos de mayor impacto. Se utilizan varios términos genéricos para referirse al conjunto de estos: movimientos en masa, inestabilidades gravitatorias o procesos gravitatorios, movimientos de ladera, movimientos de vertiente, deslizamientos, deslaves o derrumbes.

Según Bach (2009), los mecanismos principales de los movimientos en ladera son:

- a) Desprendimientos: se trata de caídas libres muy rápidas de bloques o masas rocosas. Es un corrimiento rápido del terreno y comúnmente está asociado con períodos de fuertes precipitaciones.
- b) Flujos: son movimientos de masas de suelo (barro o tierra), derrubios o bloques rocosos con abundante presencia de agua, que les otorga un comportamiento “fluido” y la masa movida no conserva la forma en su movimiento descendente.
- c) Deslizamientos: consisten en movimientos de masa, suelo o roca, que se deslizan respecto al substrato, sobre una o varias superficies netas de rotura, de manera que se preserva a grandes rasgos de la forma de la masa desplazada.

#### **2.2.1.1. ETAPAS EN EL PROCESO DE FALLA**

- a. Etapa de deterioro o antes de la falla donde el suelo esta esencialmente intacto.
- b. Etapa de falla caracterizada por la formación de una superficie de falla o al 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; incluye las tres etapas anteriores.

### **2.2.1.2. CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DE MASAS**

#### **a) Caídos**

Estos movimientos ocurren cuando el material rocoso de cualquier tamaño se desprende de una ladera bastante inclinada y su recorrido se realiza en gran parte a través del aire, saltando o rodando; depende de la inclinación de la ladera.

#### **b) Inclinación o volteo**

Es la rotación hacia adelante y hacia el exterior de la ladera, de una masa de suelo o roca alrededor de un eje situado por debajo de su centro de gravedad. La fuerza desestabilizadora es la gravedad, así como el empuje ejercido por el terreno adyacente o los fluidos (agua) en las grietas.

#### **c) Reptación.**

Es la deformación que sufre la masa de suelo o roca como consecuencia de movimientos muy lentos por acción de la gravedad. Se suele manifestar en la curvatura de las rocas y troncos de los árboles, el corrimiento de carreteras y líneas férreas y la aparición de grietas.

#### **d) Deslizamientos de 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 dentro de una zona relativamente delgada. Los deslizamientos en masa pueden ser de una sola masa coherente que se mueve, o

pueden comprender varias unidades o masas semi-independientes. Los desplazamientos en masa se pueden subdividir en los subtipos siguientes: deslizamiento rotacional y deslizamiento traslacional

e) Esparcimiento lateral

El movimiento es una extensión lateral controlada por fracturas. Puede ocurrir en rocas con diferente resistencia o bien sobre suelos. Cuando se produce en rocas, se desarrolla con lentitud; cuando se produce en suelos, puede ser considerablemente rápido durante terremotos y representar en estos casos una alta amenaza.

f) Avalanchas

En las avalanchas la falla progresiva es muy rápida y el flujo desciende formando una especie de “ríos de roca y suelo”. 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 prerrequisito para que ocurran.

g) Flujo

Estos movimientos se producen en rocas, escombros y suelos; en los últimos dos casos están relacionados con una saturación de agua, principalmente en los períodos de lluvia intensa. El movimiento es demasiado rápido y peligroso<sup>1</sup>.

La distribución de velocidades en la masa desplazada se parece a la presentada en un fluido viscoso. Por este motivo, la masa movida no conserva la forma en su movimiento descendente, adoptando formas lobuladas, desparramándose por la ladera o formando conos de deyección cuando afectan a materiales granulares. Existe una gradación desde

---

<sup>1</sup> GTZ. (Cooperación Técnica Alemana, SV). **Guía para la gestión local de riesgo por deslizamiento**. San Salvador, El Salvador, C.A. 2 ed. 2003. pág. 36 - 38

los deslizamientos a los flujos, dependiendo del contenido de agua, movilidad y evolución del movimiento

**Flujos o avalancha de detritos.** Movimiento rápido de una mezcla en donde se combinan suelos sueltos, fragmentos de rocas y vegetación con aire y agua, formando una masa viscosa o francamente fluida que fluye pendiente abajo.

**Flujo de suelos.** Masa de suelo y agua que fluye pendiente abajo muy rápidamente, y que contiene por lo menos 50% de granos de grava, arena y limo.

**Flujo de Lodos.** Masa de suelo y agua que fluye pendiente abajo muy rápidamente, y que contiene por lo menos 50% de granos de arena y limo, y partículas arcillosas.

Los flujos de lodo poseen fuerzas destructoras grandes que dependen de su caudal y velocidad. Un flujo de lodo posee tres unidades morfológicas: un origen que generalmente es un deslizamiento, un camino o canal de flujo y finalmente una zona de acumulación.

**Movimientos de lahar o flujos de escombros.** Llamados también lahares. Son flujos de escombros (rocas, tierras y árboles), mezclas de lodos y sedimentos, movilizadas por agua lluvia. Estos materiales se acumulan en las partes altas de montañas o volcanes y con frecuencia se encuentran inestables (Figura 2.4).

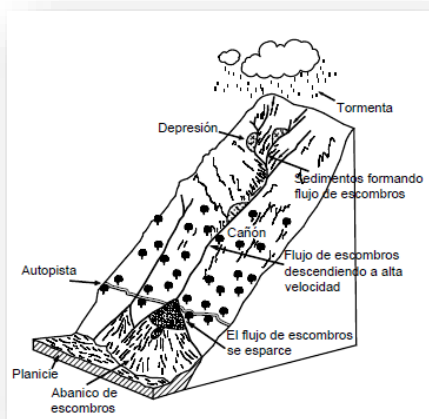


Figura 2.4 Formación de un flujo de residuos en una ladera de alta pendiente.

### 2.2.1.2.1. MOVIMIENTOS DE LAHAR

Los lahares se clasifican en dos tipos:

- ✓ Primarios: sincrónicos con la erupción, causados por:
  - Flujo de lava, Flujos y/o de piroclastos
  - Explosión de gases y colapsos de laderas
  - Caídas de piroclastos (ceniza y fragmentos)
  - Erupción subglacial
  - Vaciado de un lago hospedado en la cumbre
  - Sismos relacionados con la erupción.
- ✓ Secundarios: sin relación con erupción, causados por:
  - Lluvias intensas
  - Sismos no relacionados con procesos eruptivos.

Los lahares pueden desencadenarse por reactivación de un volcán, aunque de forma más frecuente se generan por lluvias intensas. Al mezclarse con agua, los escombros fluyen rápidamente por las quebradas, debido a la baja cohesión de sus componentes y se depositan posteriormente en las partes bajas de los volcanes, donde la pendiente se suaviza dando lugar a conos de deyección.

Las propiedades físicas de los lahares están controladas por el tamaño de los materiales volcánicos y el contenido de agua. Un flujo de escombros volcánicos puede transportar partículas desde el tamaño de grava hasta bloques de más de un metro de diámetro. **La concentración de partículas sólidas es de 75 a 80% en peso o 55 a 60% en volumen<sup>2</sup>.**

Las áreas de inundación y alcance de los lahares dependen en gran medida de su volumen, tamaño de las rocas y la topografía del terreno.

---

<sup>2</sup> <http://www.snet.gob.sv/Geologia/Vulcanologia/memorias/mtecVSM6.pdf>, pág. 21.

Las velocidades de movimiento de los lahares varían y dependen de los factores siguientes: cantidad de agua lluvia, tiempo de duración de la tormenta, pendiente y dimensiones del cauce, volumen y distribución del tamaño de los materiales depositados en el cauce; los lahares pueden alcanzar velocidades que superan los 150 kilómetros por hora.

Cuando se habla de un movimiento de lahar en un volcán se ha de enfatizar en las pendientes del mismo ya que generan inestabilidad, produciendo un desprendimiento de sedimentos difícil de contener.

Además los lahares pueden causar problemas después de que ha concluido el evento ya que se saturan los canales naturales de la corriente con sedimentos, las corrientes comienzan a erosionar el suelo y generan nuevas trayectorias.

### **Ocurrencia de lahares en las laderas del volcán Chaparrastique**

La distribución de los flujos de escombros o lahares en el volcán de San Miguel sugiere que las erupciones no han generado grandes desprendimientos de tierra; históricamente no se tienen flujos extensos formados durante los intervalos de actividad eruptiva. El principal efecto de los lahares en el Volcán Chaparrastique es el soterramiento de vías de comunicación y de viviendas según el mapa de amenaza por lahar (ver Figura 2.5).

Según la observación de campo, efectuada en enero de 2014 por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, se determinó la existencia de depósitos de escombros de grandes dimensiones acumulados en la parte alta del volcán, lo cual sugiere la posibilidad de un colapsado en las laderas del mismo, producido por el grado de inclinación que posee el volcán y por efecto de las lluvias. Estos flujos de escombros pueden ocurrir especialmente sobre el flanco noroeste del volcán. Los efectos directos de la mayoría de los desprendimientos de tierra y lahares en San Miguel se encuentren confinados dentro de unos 10 kilómetros de la cumbre del volcán.



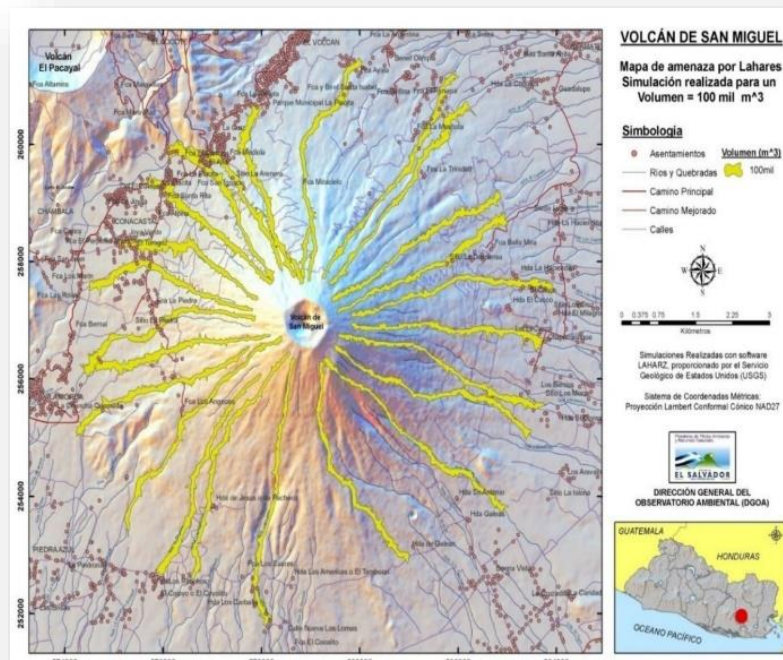


Figura 2.6 Mapa de amenaza por lahares Volcán Chaparrastique San Miguel.

La formación y dilución de los lahares en el volcán Chaparrastique se ve representada en la Figura 2.6

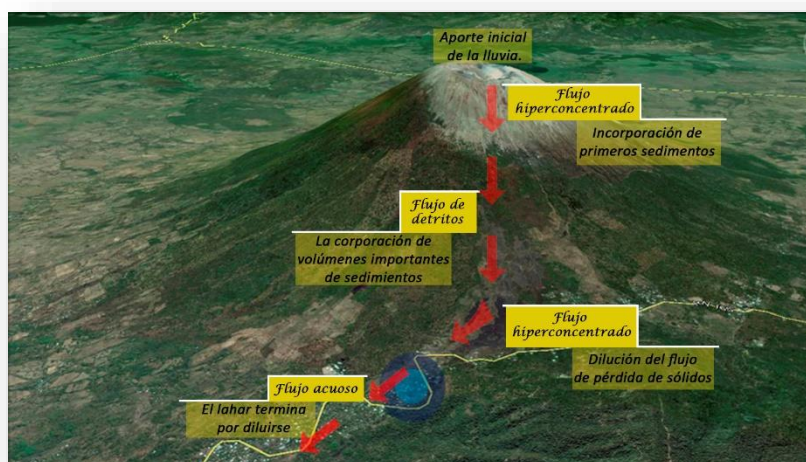


Figura 2.5 Formación y dilución de un lahar en la ladera noroeste del volcán Chaparrastique.

### 2.2.1.3. 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.

- a. **Tipo de material:** roca, residuos, tierra
- b. **Humedad:** seco, húmedo, mojado, muy mojado
- c. **Secuencias de Repetición:** Varnes (1978) recomienda utilizar la siguiente terminología: progresivo, retrogresivo, ampliándose, alargándose, confinado, disminuyendo
- d. **Velocidad del Movimiento:** De extremadamente lento a extremadamente rápido.

Tabla 2.2 Velocidad de los movimientos.

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

Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de taludes en zonas tropicales. Jaime Suarez, pág. 26.

#### **e. Estilo**

Varnes estableció una nomenclatura de actividad de deslizamiento cuando aparecen conjuntamente diferentes tipos de movimiento<sup>3</sup>:

- ✓ Complejo. Un deslizamiento complejo es aquel que tiene al menos dos tipos de movimiento.
- ✓ Compuesto. El término compuesto corresponde al caso en el cual ocurren simultáneamente varios tipos de movimiento en diferentes áreas de la masa desplazada.
- ✓ Múltiple. Se denomina como múltiple un deslizamiento que muestra movimientos repetidos del mismo tipo, generalmente, ampliando la superficie de falla.
- ✓ Movimiento sucesivo. Corresponde a movimientos repetidos pero que no comparten la misma superficie de falla.
- ✓ Sencillo. Corresponde a un solo tipo de movimiento.

#### **f. Estado de Actividad**

Los estados de actividad para los diferentes movimientos se clasifican en:

- ✓ Activo. Deslizamiento que se está moviendo actualmente.
- ✓ Reactivado. Movimiento que está nuevamente activo, después de haber estado inactivo.
- ✓ Suspendido. Deslizamientos que han estado activos durante los últimos ciclos estacionales pero que no se está moviendo en la actualidad.
- ✓ Inactivo. Deslizamientos que llevan varios ciclos estacionales sin actividad.
- ✓ Dormido. Deslizamiento inactivo pero que las causas del movimiento aparentemente permanecen.
- ✓ Abandonado. Es el caso de un río que cambió de curso y que estaba produciendo un deslizamiento.

---

<sup>3</sup> Jaime Suarez Díaz. **Deslizamientos Análisis Geotécnico**. Colombia, 2002 pág.28

- ✓ Estabilizado. Movimiento suspendido por obras remediales artificiales.
- ✓ Relicto. Deslizamientos que ocurrieron posiblemente, hace varios miles de años se pueden llamar deslizamientos Relictos.

#### 2.2.1.4. CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS

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 2.5 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 (Tabla 2.3); 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 (Tabla 2.4).

Tabla 2.3 Factores condicionantes de los movimientos de ladera.

Agentes	Descripcion	Características
<b>Condicionantes (dependen de las características de la ladera)</b>	Morfológica y Topografica	El relieve influye en la estabilidad, a mayor pendiente y altura aumenta el efecto gravitacional.
	Geológica y características de los suelos superficiales	El tipo de roca, grado de alteración y meteorización, presencia de discontinuidades, planos estratigráficos, porosidad, permeabilidad, propiedades físicas y mecánicas (resistencia y deformación), y estado de esfuerzos.
	Condiciones hidrogeológicas	El agua en el interior del terreno disminuye la resistencia cortante al aumentar la presión intersticial, además incrementa el peso volumétrico del terreno con el consiguiente aumento en los esfuerzos actuantes.
	Vegetación	Las raíces fijan los suelos superficiales a los estratos de roca de más resistencia ubicados a mayor profundidad, absorben el agua contenida en el suelo y disminuyen la erosión superficial al mitigar el impacto de las gotas de lluvia y reducir la velocidad de escurrimiento.

Tabla 2.4 Factores desencadenantes de los movimientos de ladera.

Agentes	Descripcion	Características
<b>Desencadenantes (factores externos responsables de la inestabilidad)</b>	Lluvias	Su efecto depende de la intensidad, duración y distribución de la lluvia; puede ocasionar disolución de cementantes y rotura de capilaridad, además influye directamente en factores condicionantes como la meteorización y el nivel de agua subterránea.
	Terremotos	Las vibraciones sísmicas originan fluctuaciones en el estado de esfuerzos en el interior del terreno y pueden originar todo tipo de movimientos, dependiendo además de la magnitud del sismo y el epicentro.
	Vulcanismo	Las erupciones volcánicas pueden originar deslizamientos o avalanchas de derrubios de gran magnitud y velocidad en las laderas de los conos volcánicos.
	Erosión y socavación	Incluye la acción erosiva de ríos y oleaje, produciendo el efecto siguiente
	Actividad humana	Influye en la estabilidad al cambiar la geometría de la ladera por excavaciones, construcción de obras civiles; además, estas obras en general cambian las condiciones hidrogeológicas al alterar el drenaje superficial afectando el nivel freático y el flujo natural de escurrimiento. También se incluye la deforestación como una de las actividades humanas que más influencia negativa tiene en la estabilidad de una ladera.

Tabla 2.5 Factores influyentes en el comportamiento geomecánico de los materiales de las laderas y su relación<sup>4</sup>.

Reducción de la resistencia al corte	Aumento de los esfuerzos de corte.
<b>Condiciones iniciales:</b> Composición, textura y estructura Fracturas y fallas Planos de estratificación y de filiación Zonas de brechas Rocas masivas sobre materiales plásticos Alteración de materiales con diferente permeabilidad <b>Cambios en los materiales por meteorización y reacciones físico-químicas:</b> Desintegración física de las rocas Hidratación de materiales arcillosos Desecación de arcillas y de rocas arcillosas Disolución y lavado de materiales Plastificación de arcillas	<b>Actuación de esfuerzos transitorios:</b> Movimientos sísmicos Vibraciones por voladuras, maquinaria y tráfico Deslizamientos cercanos
	<b>Pérdida de confinamiento lateral y en la base de las laderas:</b> Erosión del pie de las laderas por ríos, arroyos, olas, etc. Lluvias Erosión interna o subterránea Disolución y lavado del material Labores mineras Presencia de materiales plásticos infrayacentes
	<b>Cambios en la morfología:</b> Deslizamientos Grandes fallas

<sup>4</sup> 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. 44. Tesis UES.

<p><b>Cambios en las fuerzas intergranulares debidas al agua y presiones de agua en poros y fracturas:</b>  Precipitaciones  Deshielo  Lagos y embalses  Riego  Deforestación</p>	<p><b>Sobrecargas naturales:</b>  Peso de la lluvia, nieve y agua de acuíferos  Acumulación de derrubios, coluviones o masas deslizadas  Vegetación</p>
<p><b>Cambios en la estructura:</b>  Por figuración en pizarras y arcillas sobre consolidadas  Por relajación de tensiones en laderas rocosas en valles o excavaciones  Por remolden de suelos finos (arenas) y asillas sensitivas  Debilitamiento de la resistencia debida a procesos de creep  Acción de las raíces de los árboles y arbustos  Excavación de madrigueras de animales</p>	<p><b>Sobrecargas Antrópicas:</b>  Rellenos, escombreras y acopio de materiales  Edificios y otras estructuras  Cultivos y riego de laderas</p> <p><b>Otras acciones Antrópicas:</b>  Excavaciones  Retirada de elementos de contención  Construcción de embalses y lagos</p> <p><b>Procesos volcánicos:</b>  Colapso de edificios volcánicos.  Deslizamientos en laderas de piroclastos.</p>

### 2.2.2. ESTUDIO GEOTÉCNICO

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.

Es importante definir “el suelo” antes de comenzar a analizarlo y practicar ensayos en él; así, de una manera general el término suelo se define 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.
- ✓ Muestreo.
- ✓ Ensayos.
- ✓ Presentación de resultados.

#### **2.2.2.1. MUESTREO**

Para determinar las propiedades de un suelo en laboratorio es preciso contar con muestras representativas de dicho suelo. Un muestreo adecuado y representativo es de primordial importancia, pues tiene el mismo valor que el de los ensayos en sí.

Las muestras pueden ser de dos tipos: alteradas o 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.

##### **a) 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:

- ✓ Sondeo a cielo abierto.

Este método consiste en hacer excavaciones de tamaño suficiente para que una persona en este caso un técnico pueda introducirse en él y poder examinar los distintos estratos en su estado natural, y de este modo poder saber las características que presenta cada estrato en cuanto a la cantidad de agua contenida.

✓ Toma de muestras en Zanjas abiertas.

Este método consiste en hacer excavaciones de tamaño suficiente para extraer una muestra de suelo de la cara frontal de la ladera; previamente el área deberá estar libre de material orgánico. La muestra de suelo extraída con pala, barreta o cualquier otra herramienta de mano conveniente se deposita dentro de una bolsa de plástico para que se tengan pérdidas mínimas de humedad durante su transporte al laboratorio. Dentro de esta bolsa se deberá colocar una etiqueta la cual contendrá el lugar de donde se extrajo la muestra, su localización, el número de sondeo, fecha del sondeo y la profundidad a la que se obtuvo.

b) Muestro Inalterado

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

✓ Muestra sin perturbar.

En este tipo de muestra se recorta de las paredes de los pozos y compromete estratos bien definidos. Después de cortadas deben revestirse con una capa de parafina sólida aplicada con brocha. Es conveniente agregar alrededor de un 30% de cera virgen a la parafina sólida con el fin de que la capa protectora sea menos rígida. Si la consistencia de la muestra es relativamente blanda, debe rodearse de grasa y recubrir una vez más con parafina sólida y manta. Una vez dado el tratamiento anterior, debe colocarse en cajas de madera con aserrín u otro producto que actúe como amortiguador de golpes.

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.



### **2.2.2.2. 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.

#### **a. Ensayo Densidad In Situ Método del cono de arena ASTM D 1556.**

Este método cubre la determinación de la densidad del suelo in situ.

Cualquier suelo u otro material que puede ser excavado con herramientas de mano puede ser ensayado, siempre y cuando los vacíos o las aberturas de los poros en la masa son lo suficientemente pequeños para prevenir que la arena usada en el ensayo se introduzca en los vacíos naturales. El suelo u otro material siendo ensayado deberán tener la suficiente cohesión o atracción entre partículas para mantener estable los lados de un hueco pequeño o excavación. Este deberá ser lo suficientemente firme para soportar las presiones pequeñas ejercidas al excavar el hueco y colocar el aparato sobre él, sin deformarse o desplazarse.

Este método puede ser usado para determinar la densidad in-situ de depósitos de suelos naturales, agregados, mezclas de suelos u otro material similar.

El uso de este método está generalmente limitado a un suelo en una condición no saturada. Este método no es recomendable para suelos que son blandos o fáciles de pulverizar o que estén en una condición de humedad tal que el agua escurra en un hueco excavado a mano. La precisión del ensayo puede ser afectada para suelos que se deforman fácilmente o que sufran cambios volumétricos en el hueco excavado debido a que el personal camine o se detenga cerca del hueco durante la prueba.

### 2.2.2.3. ENSAYOS DE LABORATORIO

#### a) Descripción visual-manual de los suelos ASTM-D 2488

Esta práctica describe un procedimiento para identificar suelos y se basa en el sistema de clasificación convencional.

La identificación se hace mediante un examen visual y mediante ensayos manuales, lo cual debe indicarse claramente al momento de realizar un análisis de los resultados de la misma. Además el ensayo de identificación visual-manual de un suelo nos permite conocer en forma cualitativa, las propiedades mecánicas e hidráulicas del suelo, sin embargo esta prueba requiere gran pericia y experiencia para poder brindar una clasificación correcta.

Tabla 2.6 Identificación de los suelos (procedimiento visual-manual).

Nombre del Ensayo	Parámetros	Símbolos	Identificación	
<b>Inspección Visual</b>	Color	Color café oscuro a negro	ON	Suelo con alto contenido de orgánico
		Rojizo a rojo oscuro	RO	Contenido de óxido de hierro, combinaciones químicas de hierro
		Amarillo a café amarillento	AC	Contenido de hierro o hierro hidratado
		Blanco	B	Contenido de sílice, limo, compuestos de aluminio
	Forma	Muy regular	MA	Canteras
		Angular	AG	Lentejas, piedras volcánicas y chispas
		Semi-angular	SA	Gravas
		Muy redondeada	MR	Canto rodado
		Semi-redondeada	SR	Piedra de río
		redondeado	R	Canto rodado
<b>Sedimentación</b>	Inmediata	I (%)	Arena	
	Un minuto	UM (%)	Limo	
	Una hora o mas	UH (%)	Arcilla	
<b>Sacudimiento</b>	Reacción rápida	RR	Limo inorgánico, polvo de roca, arena muy fina	
	Reacción lenta	RL	Limo, arcilla limosa	
	No reacciona	NR	Turba (materia orgánica)	
<b>Rotura</b>	Ligera	L	Limo inorgánico, polvo de roca, arena limosa	

	Media	M	Arcilla inorgánica, (plasticidad entre baja y media)
	Alta	A	Arcilla inorgánica, (altamente plástica)
<b>Plasticidad</b>	Cilindro tenaz	CT	Arcilla de alta plasticidad
	Cilindro moderada plasticidad	CM	Suelo de plasticidad media
	Cilindro débil	CD	Suelo de baja plasticidad
<b>Olor</b>	Mal Olor	MO	Suelos orgánicos
<b>Reacción al HCL</b>	Efervescencia	E	Carbonato de calcio
<b>Brillo</b>	Superficie brillante	SB	Arcilla muy plástica
	Superficie mate	SM	Limo, arcilla de baja plasticidad
<b>Sonido</b>	Chasquido	CH	Arena fina
	Sin Chasquido	S. CH	Arcilla plástica o limo sin arena

*Fuente: Mecánica de suelos; Juárez Badillo*

### **b) Contenido de humedad ASTM-D 2216.**

La relación entre porcentaje del peso de agua del espécimen y el peso de los sólidos, se denomina  $\omega$ . Existen varias formas de agua en el suelo, y unas requieren más temperatura y tiempo de secado que otras para ser eliminadas. En consecuencia, el concepto “suelo seco” es arbitrario, como lo es el agua que es pesada en el suelo de muestra.

Suelo seco es el que se ha secado a temperatura de 105°C - 110°C, hasta peso constante durante 24 o 18 horas.

$$\omega = \frac{W_{sw} - W_{ss}}{W_{ss}} * 100\%$$

Donde:

$\omega$ : Contenido de humedad

$W_{sw}$ : Peso de la muestra húmeda

$W_{ss}$ : Peso de la muestra seca.

### **c) Análisis Granulométrico ASTM D 422**

El suelo está constituido por partículas de diferente tamaño, para conocer la proporción de cada material que tiene un suelo se realiza el análisis granulométrico. El cual se refiere a la determinación de la cantidad en por ciento de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo.

Para agrupar a los constituyentes del suelo según su tamaño se han establecido muchas clasificaciones. Básicamente todas aceptan los términos de grava, arena, limo y arcilla, pero difieren en los valores de los límites establecidos para definir cada clase.

La distribución de las partículas con tamaño superior a 0.075 se determina mediante tamizado, con una serie de mallas normalizadas. Para partículas menores que 0.075 mm, su tamaño se determina observando la velocidad de sedimentación de las partículas en una suspensión de densidad y viscosidad conocidas. El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre aberturas cuadradas. Los números de tamaño (tamaños de granulometría), para el agregado grueso se aplican a las cantidades de agregado (en peso), en porcentajes que pasan a través de un arreglo de mallas. Conocida la composición granulométrica del material, se le presenta gráficamente para formar la llamada curva granulométrica del mismo (ver Figura 2.7)

Las características granulométricas de un suelo pueden expresarse por un término numérico indicativo de algún tamaño de grano característico y del grado de uniformidad, o bien por medio de nombres o símbolos que indiquen la fracción de suelo predominante.

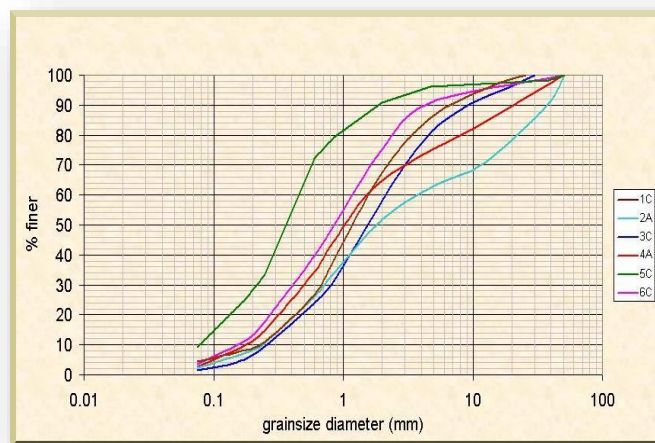


Figura 2.7 Curva granulométrica.

El diámetro efectivo,  $D_{10}$ , es el tamaño de partículas que corresponde a  $P= 10\%$  en la curva granulométrica, de modo que el 10% de las partículas son mas finas que  $D_{10}$  y el 90% mas gruesas. El coeficiente de uniformidad  $C_u$  es igual a  $D_{60}/D_{10}$  en que  $D_{60}$  es el diámetro en milímetros para el cual el 60% de las partículas son menores que ese diámetro.

Otro valor numérico que ayuda a conocer las condiciones granulométricas de un suelo es el coeficiente de curvatura,  $C_c$ , que es igual a  $(D_{60})^2/D_{10} \cdot D_{60}$ .

Un material bien graduado debe cumplir la condición de que el coeficiente de uniformidad sea mayor que 4 para gravas y mayor que 6 para arenas, y que el coeficiente de curvatura este comprendido entre 1 y 3. Cuando el coeficiente de uniformidad  $C_u$  es menor que los indicados, ello significa que el material no es graduado sino prácticamente uniforme en el diámetro de sus partículas.

#### **d) Ensayo de Corte Directo ASTM D 2850**

El ensayo de Corte Directo es la forma más antigua y simple de arreglo de ensayo de corte. El equipo de ensayo consiste en una caja de corte metálica en la cual se coloca el espécimen de suelo. Los especímenes pueden ser de planta cuadrada o circular. El tamaño generalmente usado en los especímenes es de alrededor de 2x2" o 4x4" (50.8x50.8 mm o 101.6x101.6 mm) En su sección transversal, y alrededor de 1 pulgada (25.4 mm) de altura. La caja esta partida horizontalmente en dos mitades. La fuerza normal en el espécimen puede ser tan grande como 150lbs/pul<sup>2</sup> (1034.2 KN/m<sup>2</sup>). La fuerza de corte se aplica moviendo una mitad de la caja con respecto a la otra para causar la falla en el espécimen del suelo.

En los ensayos con control esfuerzos, la fuerza cortante es aplicada con iguales incrementos, hasta que el espécimen falle. La falla ocurre a lo largo del plano en que la caja de corte esta partida. Luego de la aplicación de cada carga incremental, se mide el desplazamiento por corte de la mitad superior de la caja por medio de un micrómetro horizontal. El cambio en la altura del espécimen (y por tanto, su cambio de volumen). Durante el ensayo puede obtenerse a partir de las lecturas de un micrómetro se mide el movimiento vertical de la placa de carga superior.

En ensayo con control de deformaciones, se aplica a una mitad de la caja una velocidad constante de desplazamiento de corte por medio de un motor que actúa por medio de engranaje.

La velocidad constante de desplazamiento de corte se mide por medio de un micrómetro horizontal. La fuerza de corte resistente en el suelo correspondiente a cualquier desplazamiento, puede medirse por medio de un anillo de carga o una celda de carga horizontal. El cambio volumétrico del espécimen durante el ensayo se obtiene de manera similar a la de los ensayos con control de esfuerzos.

### 2.2.3. CUENCAS HIDROGRÁFICAS

La cuenca hidrográfica es la zona de la superficie terrestre delimitada por una línea imaginaria llamada parte agua, trazada en las parte más altas de las montañas, laderas y colinas, en el cual se desarrolla un sistema de drenaje superficial que concentra sus aguas en un río principal el cual se integra al mar, lago u otro río más grande, este espacio se puede delimitar en una carta altimétrica, siguiendo la divisoria de las aguas.

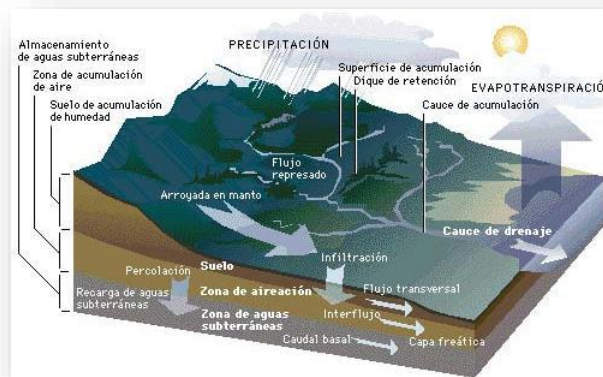


Figura 2.8 Cuenca Hidrográfica.

#### Clasificación de cuencas hidrográficas

- ✓ Por el área total de la cuenca
- ✓ Por sistema de drenaje de la cuenca
- ✓ Por el orden de corrientes

### 2.2.3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CUENCA

- a. Área de la cuenca ( $A_c$ ): es la medida de la superficie de la cuenca en proyección horizontal delimitada por el parteaguas, expresada en kilómetros cuadrados ( $Km^2$ ).
- b. Longitud perimetral de la cuenca ( $L_p$ ): es el perímetro de la cuenca ( $L_p$ ) se calcula de muchas formas: curvímetro, a través de cuadrículas y haciendo uso del programa Autocad Civil 3D ( $Km$ ).
- c. Longitud del cauce más largo ( $L$ ): es aquel en el cual la distancia es más larga en el recorrido de la vertiente, expresada generalmente en kilómetros ( $Km$ ).
- d. Longitud de los cursos de agua o longitud total de los cauces ( $L_c$ ): la longitud total de los cauces dentro de una cuenca ( $Km$ ).
- e. Densidad de Drenaje ( **$D_d$** ): se define como la longitud total de los cauces dentro de una cuenca, dividida por el área total de la cuenca.
- f. 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 ( $m$ ). Es de interés conocerla, ya que tiene relación con la temperatura y la precipitación.
- g. Longitud de planta de la cuenca ( $L_{planta}$ ): utilizando la longitud del cauce principal y el desnivel de la cuenca, se puede determinar por medio de trigonometría la longitud de medida en planta de la cuenca. Expresado en  $km$ .
- h. 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.
- i. La Pendiente Media ( $S_m$ ): 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.

### **2.2.3.2. 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

#### **a. Coeficiente de Compacidad ( $K_c$ )**

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.

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.

#### **b. Factor de forma ( $K_f$ )**

Es un índice que permite establecer la tendencia morfológica general en función de la longitud axial de la cuenca, y de su ancho promedio. Una cuenca tiende a ser alargada si el factor de forma tiende a cero, mientras que su forma es redonda, en la medida que el factor de forma tiende a uno.

Este no es más que la relación entre el ancho medio y la longitud axial de la cuenca. La longitud axial de la cuenca se mide cuando se sigue el curso de agua más largo desde la desembocadura hasta la cabecera más distante de la cuenca.

### **2.2.3.3. CÁLCULO DE AVENIDAS MÁXIMAS**

Para los cálculos de las avenidas máximas o caudales pico de la cuenca de estudio existen varios métodos entre los cuales están:



- Envolventes de Creager

La idea fundamental de este método es relacionar el gasto máximo ( $Q$ ) con el área de la cuenca ( $A_c$ ); se emplea cuando no se conocen las características de precipitación en la zona de estudio, ya que en el intervienen como variable únicamente las características físicas de la cuenca.

- Método de las Isócronas

Significa líneas de igual tiempo y velocidad o sea que el método pretende aplicar y calcular el caudal en áreas que quedan definidas por curvas que utilizan el mismo tiempo para recorrer el cauce. El cálculo de este método está basado en la formula racional para el cálculo de los caudales máximos. Este método puede ser considerado como una extensión mejorada del método racional. La descarga máxima ( $Q$ ) es la suma de flujos que contribuyen desde subdivisiones de la cuenca definida por sus curvas de tiempo (denominadas isócronas).

- Método del Hidrograma Unitario Triangular

El Hidrograma es la representación gráfica, que muestra el cambio en el caudal, o flujo, por unidad de escorrentía a lo largo del tiempo; en otras palabras, muestra cómo la adición de una unidad de escorrentía influirá en el caudal de un río con el tiempo. El hidrograma unitario es una herramienta útil en el proceso de predecir el impacto de la precipitación sobre el caudal.

El uso de las modernas técnicas de computación permite fácilmente trabajar con el hidrograma unitario instantáneo, en vez del clásico HU de duración  $T$ , lo cual representa una ventaja.

Los elementos que se requieren conocer para utilizar este método son los siguientes:

- a. Tiempo de concentración

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.

#### b. Periodo 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.

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.

#### c. Análisis de lluvia

La lluvia posee tres características que son:

##### ✓ Intensidad

Se define como la mayor o menor precipitación de agua para un tiempo determinado y usualmente se expresa en mm/min. Además pueden mencionarse que la escorrentía superficial es directamente proporcional a la intensidad de la lluvia, es decir a mayor intensidad de lluvia mayor escorrentía, y también a menor intensidad de lluvia menor escorrentía.

##### ✓ Duración

Es el periodo de tiempo que tarda una determinada lluvia en precipitar sobre la superficie y usualmente se expresa en minutos o en horas. Las lluvias que producen caudales máximos en un punto de la cuenca hidrográfica son, aquellas cuya duración de precipitación es igual al tiempo que necesita una gota de agua precipitada en el punto más alejado aguas arriba de la cuenca en llegar a un punto de interés. En cuencas pequeñas las tormentas que producen los mayores caudales, son tormentas de corta duración y alta intensidad de lluvia, en tal sentido se utilizan lluvias de varias duraciones tales, como 5, 10, 15, 20,30,45,90, 120, 180,240 y 360 minutos.

✓ Frecuencia

En cuanto mayor es la intensidad de la tormenta más rara es su ocurrencia o menor su frecuencia. En forma aproximada, (de una duración) a una intensidad más alta de duración específica, consignada en el periodo de registro de n años llamada tormenta de n años, tiene una frecuencia de una vez en “n” años.

d. Intensidad de diseño

La intensidad de diseño es uno de los factores que se utilizan para determinar el caudal Máximo de la cuenca.

e. Curvas de Intensidad-duración-frecuencia (IDF)

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 Weibull
- ✓  $F_m = \frac{m}{(n+1)} * 100\%$
- ✓ 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.

#### **2.2.4. MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES**

Es práctica común en ingeniería definir la estabilidad de un talud en términos de un factor de seguridad (FS), obtenido de un análisis matemático de estabilidad. El modelo debe tener en cuenta la mayoría de los factores que afectan la estabilidad. Estos factores incluyen geometría del talud, parámetros geológicos, presencia de grietas de tensión, cargas dinámicas por acción de sismos, flujo de agua, propiedades de los suelos, etc. La modelación matemática de los taludes se realiza con el objeto de analizar las condiciones de estabilidad de los taludes naturales y la seguridad y funcionalidad del diseño en los taludes artificiales.

Existe una gran cantidad de metodologías para la modelación matemática, la cual depende del objetivo del análisis y de los resultados que se deseen obtener. Los objetivos principales del análisis matemático de los taludes son los siguientes:

- ✓ Determinar las condiciones de estabilidad del talud (si es estable o inestable y el margen de estabilidad).
- ✓ Investigar los mecanismos potenciales de falla (analizar cómo ocurre la falla).
- ✓ Determinar la sensibilidad o susceptibilidad de los taludes a diferentes mecanismos de activación (Efecto de las lluvias, sismos, etc.)
- ✓ Comparar la efectividad de las diferentes opciones de remediación o estabilización y su efecto sobre la estabilidad del talud.
- ✓ Diseñar los taludes óptimos en término de seguridad, confiabilidad y economía.

Herramientas disponibles para el análisis de estabilidad

Para el análisis de estabilidad de taludes se dispone de varias herramientas tales como:

- a. Tablas o ábacos
- b. Análisis gráficos
- c. Cálculos manuales
- d. Hojas de cálculo
- e. Uso de “Software”

La técnica de análisis que se escoja depende de las características de los sitios y del modo potencial de falla; dando especial consideración a las fortalezas, las debilidades y las limitaciones de cada metodología de análisis. Hasta el año 1975, la mayoría de los análisis de estabilidad se realizaban en forma gráfica o utilizando calculadoras manuales.

Con la llegada del computador los análisis se pudieron realizar en forma más detallada; inicialmente utilizando tarjetas FORTRAN y recientemente con programas de software, los cuales cada día son más eficientes.

#### **2.2.4.1. MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD**

Existen varios métodos para el análisis de estabilidad de taludes los cuales proporcionan como resultado final un valor que corresponde al Factor de Seguridad de la ladera o talud en estudio.

El Factor de Seguridad es empleado por los Ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña.

Fellenius (1927) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla:

$$F.S. = \frac{\textit{Resistencia al corte}}{\textit{Esfuerzo cortante}}$$

En superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

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

Métodos de análisis:

**a) Método de círculos de falla**

Las fallas observadas en los materiales relativamente homogéneos, ocurren a lo largo de las superficies curvas. Por facilidad de cálculo, las superficies curvas se asimilan a círculos y la mayoría de los análisis de estabilidad de taludes se realizan suponiendo fallas circulares.

La localización de los círculos de falla generalmente se hace dibujando una grilla de puntos para centros de giro de los círculos y desde esos puntos, se trazan los círculos utilizando alguno de los siguientes criterios

- ✓ Círculos de igual diámetro.
- ✓ Círculos que pasan por un mismo punto.
- ✓ Círculos tangentes a una o varias líneas determinadas.
- ✓ Los factores de seguridad para todos y cada uno de los círculos se calculan por medio de uno o varios de los métodos existentes y el factor de seguridad del talud es el mínimo F. S. obtenido de todos los círculos analizados.

**b) Método del arco circular**

El método del arco circular se le utiliza sólo para los suelos cohesivos ( $\phi = 0$ ). El método fue propuesto por Petterson en 1916 (Petterson, 1955) pero sólo fue formalizado por Fellenius en 1922.

En la práctica, el método es un caso de la espiral logarítmica en el cual la espiral se convierte en círculo. No obstante, los análisis son mucho más sencillos para el caso del

arco circular y por otra parte, el desarrollo de este método fue anterior al de la espiral logarítmica.

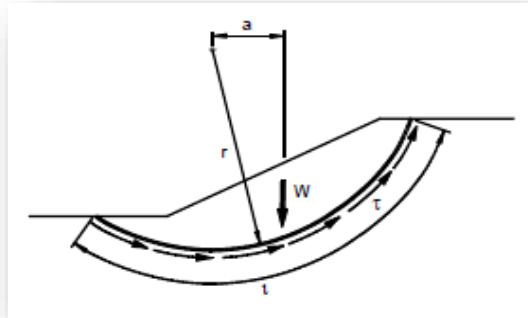


Figura 2.9 Fuerzas en un análisis de arco circular ( $\phi = 0$ ) (Duncan y Wright, 2005).

En el método del arco circular se supone un círculo de falla y se analizan los momentos con relación al centro del círculo

$$F = \frac{C * l * r}{W * a}$$

Donde:

$c$  = cohesión.

$l$  = longitud del arco de círculo.

$r$  = radio del círculo.

$W$  = peso total de la masa en movimiento.

$a$  = brazo de la fuerza  $W$  con respecto al centro del círculo

El método del arco circular satisface tanto el equilibrio de fuerzas como el equilibrio de momentos. Aunque la ecuación fue desarrollada inicialmente para un valor único de cohesión, puede extenderse para cohesiones diferentes a lo largo del arco circular y se puede reemplazar el término  $c * l * r$  por el término  $\Sigma c * l * r$ .

El procedimiento de análisis es sencillo y la única dificultad es el cálculo del brazo (“a”) para el momento de la fuerza W. Comúnmente, el análisis se realiza en forma manual elaborando gráficos.

### c) Método de dovelas

En la mayoría de los métodos con fallas curvas o circulares, la masa de la parte superior de la superficie de falla se divide en una serie de tajadas verticales. El número de tajadas depende de la geometría del talud y de la precisión requerida para el análisis. Entre mayor sea el número de tajadas, se supone que los resultados serán más precisos. En los procedimientos de análisis con tajadas, generalmente se considera el equilibrio de momentos con relación al centro del círculo para todas y cada una de las tajadas (ver Figura 2.10).

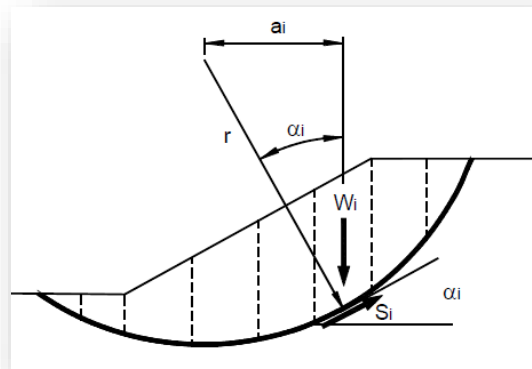


Figura 2.10 Esquema de un sistema típico de análisis con tajadas o dovelas.

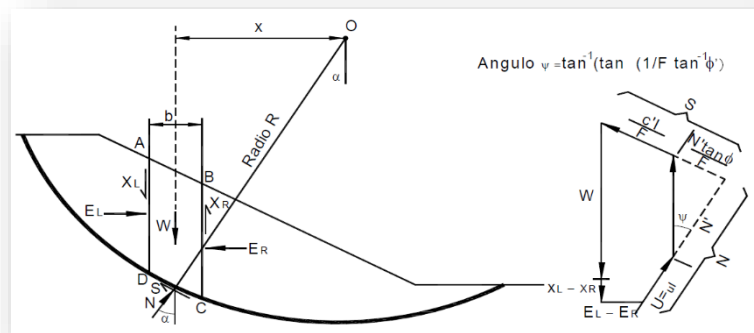


Figura 2.11 Fuerzas que actúan sobre una dovela en un análisis de estabilidad del arco circular con dovelas.



Entre los diversos métodos que utilizan dovelas, hay diferencias, especialmente en lo referente a las fuerzas que actúan sobre las paredes laterales de las tajadas (Figura 2.12 y Figura 2.11). El método ordinario o de Fellenius, no tiene en cuenta las fuerzas entre tajadas.

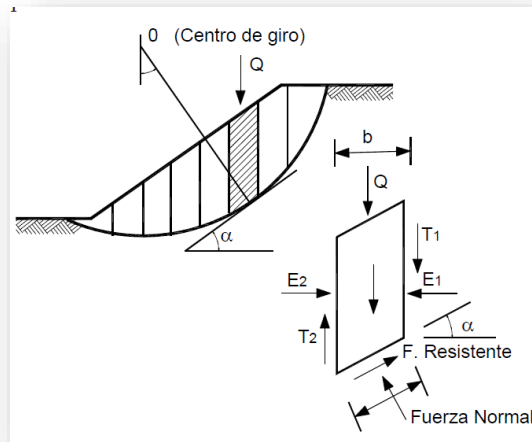


Figura 2.12 Fuerzas que actúan sobre una dovela en los métodos de dovelas.

El método simplificado de Bishop supone que las fuerzas laterales entre tajadas, son horizontales y desprecia las fuerzas de cortante y otros métodos más precisos como los de Morgenstern y Price, que utilizan una función para calcular las fuerzas entre dovelas.

#### d) Método de tablas o números de estabilidad

Para taludes simples homogéneos se han desarrollado tablas que permiten un cálculo rápido del Factor de Seguridad<sup>5</sup>. Existe una gran cantidad de tablas desarrolladas por diferentes Autores. La primera de ellas fue desarrollada por Taylor en 1937 y 1948, las cuales son aplicables solamente para análisis de esfuerzos totales, debido a que no considera presiones de poro. Desde entonces varias tablas han sido sucesivamente presentadas por Bishop y Morgenstern (1960), Hunter y Schuster (1968), Janbú (1968),

<sup>5</sup> Jaime Suarez Díaz. **Deslizamientos Análisis Geotécnico**. Colombia, 2002.pag. 138

Morgenstern (1963), Spencer (1967), Terzaghi y Peck (1967) y otros, las cuales se resumen en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Métodos de análisis de estabilidad de taludes.

<b>Autor</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Inclinación del talud</b>	<b>Método analítico utilizado</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Taylor (1948)</b>	cu c, $\phi$	0-90° 0-90°	$\phi = 0$ Círculo de fricción	Análisis no drenado. Taludes secos solamente.
<b>Bishop y Morgenstern</b>	c, $\phi$ , ru	11-26.5°	Bishop	Primero en incluir efectos del agua.
<b>Gibsson y Morgenstern (1960)</b>	cu	0-90°	$\phi = 0$	Análisis no drenado con cero resistencias en la superficie y cu aumenta linealmente con la profundidad.
<b>Spencer (1967)</b>	c, $\phi$ , ru	0-34°	Spencer	Círculos de pie solamente.
<b>Janbú (1968)</b>	cu c, $\phi$ , ru	0-90°	$\phi = 0$ Janbú GPS	Una serie de tablas para diferentes efectos de movimiento de agua y grietas de tensión.
<b>Hunter Schuster (1968)</b>	cu	0-90°	$\phi = 0$	Análisis no drenado con una resistencia inicial en la superficie y cu aumenta linealmente con la profundidad.
<b>Chen y Giger (1971)</b>	c, $\phi$	20-90°	Análisis límite	
<b>O'Connor y Mitchell (1977)</b>	c, $\phi$ , ru	11-26°	Bishop	Bishop y Morgenstern (1960) extendido para incluir $N_c = 0.1$
<b>Hoek y Bray (1977)</b>	c, $\phi$ c, $\phi$	0-90° 0-90°	Círculo de fricción Cuña	Incluye agua subterránea y grietas de tensión. Análisis de bloque en tres dimensiones.
<b>Cousins (1978)</b>	c, $\phi$	0-45°	Círculo de fricción	Extensión del método de Taylor (1948).
<b>Charles Soares (1984)</b>	$\phi$	26-63°	Bishop	Envolvente de falla no lineal de Mohr-Coulomb.
<b>Barnes (1991)</b>	c, $\phi$ , ru	11-63°	Bishop	Extensión de Bishop y Morgenstern (1960) para un rango mayor de ángulos del talud.

## Resumen de los métodos existentes para el análisis de estabilidad de taludes

Tabla 2.8 Métodos de análisis de estabilidad de taludes.

Método	Superficie de falla	Equilibrio	Características
<b>Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)</b>	Circulares	De fuerzas	Este método no tiene en cuenta las fuerzas entre las dovelas y no satisface equilibrio de fuerzas, tanto para la masa deslizada como para dovelas individuales. Sin embargo, este método es muy utilizado por su procedimiento simple.
<b>Bishop simplificado (Bishop 1955)</b>	Circulares	De momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobre determinada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela
<b>Janbú Simplificado (Janbú 1968)</b>	Cualquier forma de superficie de falla.	De fuerzas	Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. La solución es sobre determinada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Sin embargo, Janbú utiliza un factor de corrección $f_0$ para tener en cuenta este posible error.
<b>Sueco Modificado. (1970)</b>	Cualquier forma de superficie de falla.	De fuerzas	Supone que las fuerzas tienen la misma dirección que la superficie del terreno. Los factores de seguridad son generalmente altos.
<b>Lowe y Karafiath (1960)</b>	Cualquier forma de superficie de falla.	De fuerzas	Asume que las fuerzas entre partículas están inclinados a un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas. Esta simplificación deja una serie de incógnitas y no satisface el equilibrio de momentos. Se considera el más preciso de los métodos de equilibrio de fuerzas.
<b>Spencer (1967)</b>	Cualquier forma de superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida.
<b>Morgenstern y Price (1965)</b>	Cualquier forma de superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado. El método es muy similar al método Spencer con la diferencia que la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas se asume que varía de acuerdo a una función arbitraria.
<b>Elementos Finitos</b>	Cualquier forma de superficie de falla.	Analiza esfuerzos y deformaciones.	Satisface todas las condiciones de esfuerzo. Se obtienen esfuerzos y deformaciones en los nodos de los elementos, pero no se obtiene un factor de seguridad.

Fuente: *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. pág.122

#### **2.2.4.2. APLICACIONES DE SOFTWARE**

El auge que ha tomado en los últimos años el uso del computador prácticamente, ha obligado a su empleo para el análisis de estabilidad de taludes, en la mayoría de los casos. Este sistema ha permitido incorporar más información en los modelos de análisis y permite analizar situaciones que no eran posibles con los sistemas manuales.

Actualmente se conocen programas comerciales de software para computador, tales como GEO ESTUDIO, STABLE y TALREN, los cuales permiten de una forma rápida y sencilla obtener los factores de seguridad de taludes o laderas con cierto grado de complejidad y por cualesquiera de los métodos de análisis. Algunos métodos emplean los elementos finitos, con muy poco éxito en la estabilidad de taludes específicos, y otros emplean análisis de equilibrio por interacción, siendo este último sistema muy empleado universalmente.

#### **2.2.5. RIESGOS Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN**

##### **2.2.5.1. RIESGO**

El riesgo es la posibilidad de daños sociales (pérdidas de vidas), ambientales y económicos en un lugar expuesto a amenazas naturales, se relaciona con la presencia de condiciones que pueden llegar a provocar un desastre. Depende de dos factores: el peligro o amenaza natural y la vulnerabilidad. (Figura 2.13). Un desastre puede definirse como un evento o suceso que ocurre, en la mayoría de los casos, en forma repentina e inesperada, causando sobre los elementos sometidos alteraciones intensas, representadas en la pérdida de vida y salud de la población, la destrucción o pérdida de los bienes de una colectividad y/o daños severos sobre el medio ambiente.

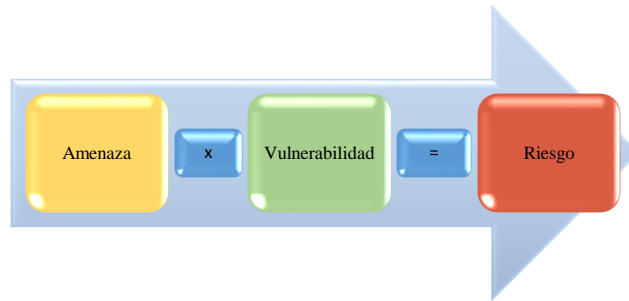


Figura 2.13 Concepto de Gestión de Riesgo.

#### 2.2.5.1.1. 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:

- ✓ Un inventario detallado de los deslizamientos y procesos de inestabilidad que han ocurrido en el pasado.
- ✓ Un conocimiento detallado de los procesos y de los factores que los producen
- ✓ El análisis de la susceptibilidad a la ocurrencia de esos fenómenos, relacionada con las condiciones ambientales existentes.
- ✓ 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.

Las amenazas naturales son las únicas que no se pueden evitar porque no dependen de acciones humanas y se clasifican en: naturales, siconaturales y antrópicas.

### 2.2.5.1.2. 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.

A continuación se explican los diferentes tipos de vulnerabilidad:

**Vulnerabilidad Física.** Localización de las comunidades y calidad de la infraestructura (casas, caminos, etc.)

**Vulnerabilidad Social.** Carencia o poca capacidad de las comunidades para organizarse en aspectos de salud, educación y desarrollo comunitario.

**Vulnerabilidad Económica.** Carencia de recursos económicos en la comunidad (desempleo, falta de acceso a educación, salud, ingresos, etc.)

**Vulnerabilidad Ambiental.** Es el resultado de nuestra relación con la naturaleza y de la explotación de los recursos naturales.

### 2.2.5.2. MÉTODOS PARA REDUCIR 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:

### a. 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.

Tabla 2.9 Métodos de prevención de la amenaza o el riesgo.

Método	Ventajas	Desventajas
Disuasión con medidas coercitivas	Son muy efectivas cuando la comunidad está consciente del riesgo y colabora con el estado.	El manejo de los factores socioeconómicos y sociales es difícil.
Planeación del uso de la tierra	Es una solución ideal para zonas urbanas y es fácil de implementar.	No se puede aplicar cuando ya existe el riesgo.
Códigos técnicos	Presenta herramientas precisas para el control y prevención de amenazas.	Se requiere de una entidad que los haga cumplir.
Aviso y Alarma	Disminuye en forma considerable el riesgo cuando es inminente.	

### b. Métodos de elusión de la amenaza.

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

Tabla 2.10 Métodos de elusión de amenaza de deslizamiento.

<b>Método</b>	<b>Aplicaciones</b>	<b>Limitaciones</b>
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 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 sub superficiales inestables cuando sus espesores no son muy grandes.	Cuando el nivel freático se encuentra sub superficial 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.

### c. Control

Métodos tendientes a controlar la amenaza activa antes de que se produzca el riesgo a personas o propiedades. Generalmente, consisten en estructuras que retienen la masa en movimiento. Este tipo de obras se construyen abajo del deslizamiento para detenerlo después de que se ha iniciado.

Tabla 2.11 Estructuras de control de masas en movimientos.

<b>Método</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Bermas	Generalmente son económicas, rápidas de construir	Se requiere un espacio grande a la mitad del talud
Trincheras	Sirven al mismo tiempo para controlar las aguas lluvias	Los cantos fácilmente pasan por encima
Estructuras de retención	Retienen las masas en movimiento	Se pueden requerir estructuras algo costosas
Cubiertas de protección	Muy útil en terrenos de pendientes muy altas	Son muy costosas

En todos los casos debe considerarse el efecto que se puede tener sobre los taludes arriba y abajo de la terraza a excavar.



#### **d. Estabilización**

La estabilización de un talud comprende los siguientes factores:

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

Los sistemas de estabilización se pueden clasificar en cinco categorías principales:

1. Conformación del talud o ladera

Sistemas que tienden a lograr un equilibrio de masas, reduciendo las fuerzas que producen el movimiento.

2. Recubrimiento de la superficie

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

3. Control de agua superficial y subterránea

Sistemas tendientes a controlar el agua y sus efectos, disminuyendo fuerzas que producen movimiento y / o aumentando las fuerzas resistentes.

4. Estructuras de contención

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

Las estructuras de contención son obras generalmente masivas, en las cuales el peso de la estructura es un factor importante y es común colocar estructuras ancladas en las cuales la fuerza se transmite al deslizamiento por medio de un cable o varilla de acero.

Cada tipo de estructura tiene un sistema diferente de trabajo y se deben diseñar de acuerdo a su comportamiento particular.

#### 5. Mejoramiento del suelo

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

Las obras pueden ser definitivas o pueden ser temporales de acuerdo al método utilizado.

Generalmente en la estabilización de deslizamientos se emplean sistemas combinados que incluyen dos o más tipos de control de los indicados anteriormente; en todos los casos debe hacerse un análisis de estabilidad del talud ya estabilizado y se debe llevar un seguimiento del proceso durante la construcción y algunos años después.

# **3. CARACTERIZACIÓN**

### 3.1. MARCO GEOGRÁFICO, POLÍTICO-ADMINISTRATIVO Y SOCIOECONÓMICO

#### 3.1.1. CONTEXTO GEOGRÁFICO

El cantón El Volcán<sup>1</sup> está ubicado a 7.4 kilómetros de la ciudad de San Miguel, al norte del volcán Chaparrastique; colinda al poniente con el cantón El Conacastal, con el cual los habitantes del cantón tienen mayor relación; al oriente con el cantón Las Lomitas y El Amate; y al sur con el cantón de San Andrés y los municipios de Moncagua, Chinameca y Quelepa.

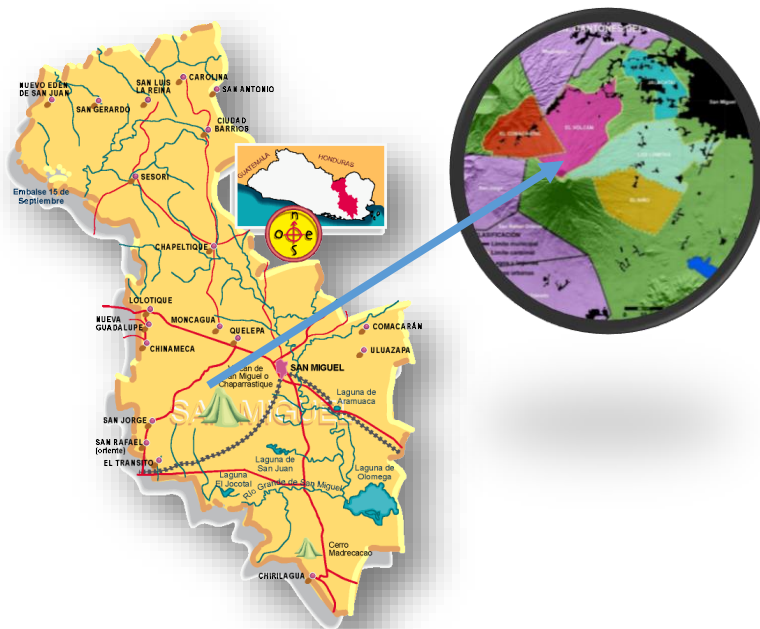


Figura 3.1 Ubicación geográfica del cantón El Volcán.

Se extiende entre las cotas topográficas 530 m.s.n.m., en su parte más baja y 2,130 m.s.n.m., en la parte más alta del volcán Chaparrastique. La parte alta del cantón tiene pendientes superiores al 70%, ya que se trata de la parte cercana al cráter del volcán de

---

<sup>1</sup> según “Monografía del Departamento de San Miguel y sus Municipios”, realizada por el CNR y el Instituto Geográfico Nacional Ing. Pablo Arnoldo Guzmán, en el año de 1998

San Miguel, mientras que la parte más baja tiene pendientes menores al 30%. El substrato es constituido por una alternancia de materiales volcánicos granulares (arena o piroclastos) y masivos (coladas de lava), por lo que constituye una zona de recarga acuífera.

El cantón es atravesado por distintas quebradas, que tienen su nacimiento en la parte alta del volcán y canalizan el agua no infiltrada en el período de lluvias. La más activa y problemática es la quebrada de La Arenera que discurre entre la ladera norte del volcán de San Miguel y la ladera de la Laguna Seca del Pacayal.

Las laderas del volcán de San Miguel y de la Laguna Seca del Pacayal están ocupadas por grandes fincas de café de sombra. Una gran parte de la población trabaja como jornaleros en estas fincas, aunque también se desarrolla agricultura de subsistencia.

Por su ubicación geográfica, la población de este cantón se encuentra en riesgo por amenaza volcánica y también por amenaza sísmica. Sin embargo; el riesgo más recurrente es la formación de lahares, en la época lluviosa, que se canalizan por las quebradas mencionadas y que pueden desbordarse en la parte más baja, soterrando parte de los caseríos del sector. Por otra parte, la alta dependencia del café, pone en riesgo a la población de amenaza por incendios y también por sequías severas.

### **3.1.2. DIVISIÓN POLÍTICO-ADMINISTRATIVA**

El Salvador está dividido político-administrativamente en 14 departamentos, con una población estimada de 7 millones de habitantes (2,5 millones residiendo en el extranjero), siendo el país de mayor densidad de población de Centroamérica (280 habitantes/km<sup>2</sup>).

El cantón El Volcán se ubica en el departamento de San Miguel, a 133 km de la capital.

El departamento de San Miguel, con una extensión de 2,077.1 km<sup>2</sup>, limita al norte con la República de Honduras; al este con los departamentos de Morazán y La Unión; al Oeste con los departamentos de Cabañas y Usulután; y al sur con el océano Pacífico.

El departamento de San Miguel se divide en 20 municipios; siendo su cabecera departamental, el municipio de San Miguel. A su vez el municipio de San Miguel se divide en 32 cantones, entre ellos el cantón El Volcán, y 114 caseríos.

Para su administración, el Cantón El Volcán se divide en cuatro caseríos, los cuales se detallan a continuación.

*Tabla 3.1 División político-administrativa del cantón El Volcán, San Miguel.*

<b>División político-administrativa del cantón</b>	
<b>Cantón El Volcán</b>	<b>Caseríos</b>
	El Carreto
	Las Magañas
	La Olimpia
	La Mascota

*Fuente: Protección Civil San Miguel*

### 3.1.2.1. DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN

De acuerdo al censo realizado en las comunidades durante el mes de julio del 2,002 y los datos recopilados por los promotores de salud del sector, se obtuvo que la población del cantón es de 5,096 habitantes (ver tabla 3.2).

*Tabla 3.2 Distribución de la población del Cantón El Volcán.*

<b>Caseríos</b>	<b>Niñas</b>	<b>Niños</b>	<b>Mujeres</b>	<b>Hombres</b>	<b>Total</b>
<b>El Carreto</b>	404	315	690	680	2089
<b>Las Magañas</b>	215	270	320	297	1102
<b>La Olimpia</b>	200	165	325	273	963
<b>La Mascota</b>	95	145	335	297	862
<b>Total</b>	904	895	1670	1547	5016

*Fuente: Protección Civil, San Miguel 2014*

Dentro de la población de la comunidad Los Carretos directamente afectada por la ocurrencia de lahares se encuentran 71 familias<sup>2</sup>. (Anexo C3)

Tabla 3.3 Población afectada de la comunidad los Carretos.

Caseríos	Niñas	Niños	Mujeres	Hombres	Total
El Carreto	60	59	70	75	264

Fuente: Protección Civil, San Miguel 2014

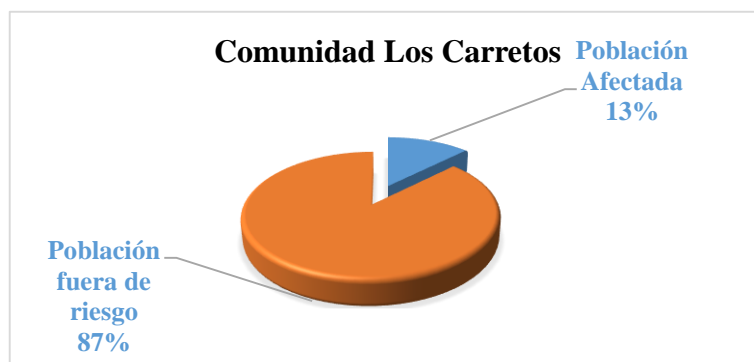


Figura 3.2 Porcentaje de población afectada de la comunidad Los Carretos

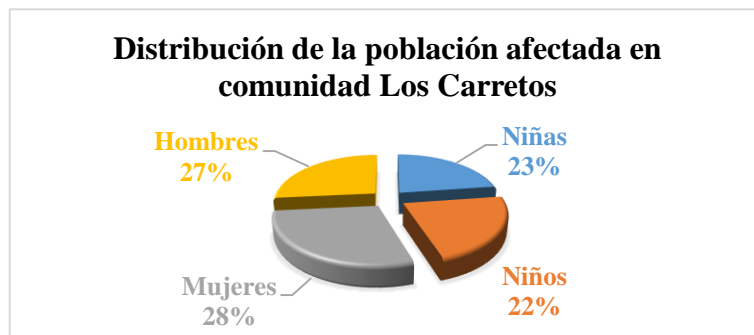


Figura 3.3 Distribución de población afectada

<sup>2</sup> Censo de población afectada de la comunidad Los Carretos, cantón El Volcán, realizado por Protección Civil el 27 de septiembre del 2013.

### **3.1.3. SITUACIÓN SOCIOECONÓMICA**

Es fundamental considerar el factor socio-económico en todo estudio, analizando sus características para conocer el grado de vulnerabilidad frente a la ocurrencia de desastres y poder plantear las soluciones más adecuadas para su tratamiento y protección.

Otro de los factores a tener en cuenta en la evaluación de los riesgos naturales, es el factor antrópico. El hombre interviene de una manera importante en estos procesos, ya que el manejo inadecuado de los recursos constituye un factor agravante o desencadenante en la ocurrencia de lahares.

Para contextualizar las diferentes situaciones de riesgo y el manejo de los recursos de los habitantes del cantón, se entenderá que la agricultura es la principal fuente de ingresos, o medio de supervivencia; y la vivienda es muy vulnerable ante cualquier evento natural, por su ubicación y por su construcción. Otro factor importante es la salud, donde no se cubren las necesidades mínimas de atención. En cuanto a los servicios, comunicaciones, sistema vial y de transporte, se puede decir que se encuentran atendiendo de forma deficiente.

#### **3.1.3.1. SERVICIOS BÁSICOS**

Los servicios, en una ciudad, barrio o cantón, son las obras de infraestructuras necesarias para una vida saludable. Entre otros son reconocidos como servicios básicos:

- ✓ El sistema de abastecimiento de agua potable y alcantarillado de aguas servidas
- ✓ El sistema de desagüe de aguas pluviales, también conocido como sistema de drenaje de aguas pluviales
- ✓ El sistema de vías de comunicación
- ✓ El sistema de alumbrado público



- ✓ La red de distribución de energía eléctrica
- ✓ El servicio de recolección de residuos sólidos
- ✓ El servicio de la seguridad pública
- ✓ Puestos de asistencia médica
- ✓ Establecimientos educativos.

Es importante considerar la existencia de los servicios básicos porque estos contribuyen al crecimiento integral y sostenible del municipio. Entre los servicios públicos con los que cuenta el cantón El Volcán se puede mencionar:

- ✓ Red de distribución eléctrica
- ✓ Sistema de alumbrado público
- ✓ Equipo comunitario de salud
- ✓ Telecomunicaciones
- ✓ Centros educativos
- ✓ Vías de comunicación y transporte colectivo.

### 3.1.3.2. VIVIENDA

Los materiales con los cuales se construyen las viviendas, el acceso a las mismas y los métodos de construcción son factores que influyen en el desarrollo de las personas. Los tipos de construcciones existentes en la zona son: mixto, bahareque y champas (lámina y palma).

*Tabla 3.4 Sistema de vivienda en el cantón El Volcán.*

<b>Caseríos</b>	<b>Mixto</b>	<b>Bahareque</b>	<b>Champas</b>	<b>Total</b>
<b>El Carreto</b>	208	215	285	708
<b>Las Magañas</b>	185	75	35	257
<b>La Olimpia</b>	68	64	20	114
<b>La Mascota</b>	52	35	25	75
<b>Total</b>	400	389	365	1154

*Fuente: Protección Civil San Miguel 2014*

En cuanto a los servicios sanitarios con los que cuenta cada vivienda, se puede observar en la Tabla 3.5 cómo están divididos.

*Tabla 3.5 Tipo de servicios sanitarios en el cantón El Volcán.*

<b>Caseríos</b>	<b>De fosa</b>	<b>Abonera</b>	<b>De lavar</b>
<b>El Carreto</b>	399	0	11
<b>Las Magañas</b>	185	0	1
<b>La Olimpia</b>	68	0	0
<b>La Mascota</b>	52	0	0
<b>Total</b>	704	0	12

*Fuente: Protección Civil San Miguel 2014*

Del total de 708 viviendas presentes en la comunidad Los Carretos, 71 viviendas se encuentran dentro del área de ocurrencia de lahares, de la cuales 10 son del sistema mixto y 61 son champas. De estas viviendas, 58 son de tenencia propia, mientras que 13 son del estado.

### **3.1.3.3. EDUCACIÓN**

La comunidad Los Carretos cuenta con dos centros escolares: el Centro Escolar Cantón El Volcán y el Centro Escolar Finca Santa Isabel; el segundo de ellos se encuentra, según los mapas de riesgo por deslizamiento realizados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, dentro del área susceptible a deslizamiento afectando a un total de 225 estudiantes, según la distribución que se describe a continuación:

*Tabla 3.4 Estudiantes afectados según número de matrícula escolar Centro Escolar Finca Santa Isabel.*

<b>Grado</b>	<b>Parvularia (edad)</b>			<b>Primer ciclo (grado)</b>			<b>Segundo ciclo (grado)</b>			<b>Total</b>
	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>1er.</b>	<b>2do.</b>	<b>3er.</b>	<b>4to.</b>	<b>5to.</b>	<b>6to.</b>	
<b>Masculino</b>	10	10	12	11	9	15	16	22	14	119
<b>Femenino</b>	10	16	10	8	9	16	14	11	12	106
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>26</b>	<b>22</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>31</b>	<b>30</b>	<b>33</b>	<b>26</b>	<b>225</b>

*Fuente: Directora del Centro Escolar: Profa. Rina Moreira*

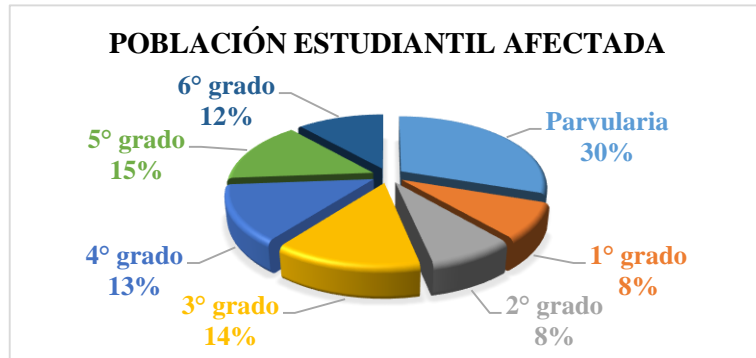


Figura 3.4 Población estudiantil afectada en comunidad Los Carretos.

### 3.1.3.4. FUENTES DE EMPLEO E INGRESOS

En general, los habitantes de estas comunidades se dedican a la agricultura de cultivos tradicionales, así como a trabajos esporádicos como jornaleros en algunos periodos del año. Aunque la mayoría de los habitantes es propietaria del terreno donde viven, los agricultores no es dueño de la tierra en que trabaja, siendo arrendatarios de dichas tierras. Este hecho imposibilita que los agricultores accedan a créditos bancarios para mejorar sus explotaciones, ya que carecen de los avales necesarios para que se les concedan.

Los recursos económicos que poseen son muy escasos, lo que les imposibilita acceder a algunos insumos necesarios y condiciona el acceso a la educación, ya que los niños tienen que trabajar para ayudar a la economía familiar.

### 3.1.3.5. VÍAS DE ACCESO

El cantón El Volcán se comunica con la ciudad de San Miguel por la Carretera de Placitas, que conduce, de la Carretera Panamericana hacia la Carretera del Litoral, pasando por las ciudades de San Jorge, San Rafael Oriente y El Transito del departamento de San Miguel. Los caseríos de La Cruz, Las Placitas y las colonias El Carmen y El Progreso se encuentran

sobre esta carretera. El caserío La Piedrita se encuentra en la parte interior del cantón y es atravesado por una calle de tercer orden que conecta a la altura de Placitas con la mencionada carretera.

### 3.1.3.6. INFRAESTRUCTURA SOCIAL

La infraestructura es el conjunto de elementos o servicios que están considerados como necesarios para que una organización pueda funcionar, o bien para que una actividad se desarrolle efectivamente.

Por otro lado, es la base material de una sociedad y la que determinará la estructura social, el desarrollo y el cambio social de la misma; incluyéndose en estos niveles, las fuerzas productivas y las relaciones de producción que en la sociedad se dan.

*Tabla 3.6 Tipo de infraestructura en el cantón El Volcán.*

<b>Caseríos</b>	<b>Infraestructura</b>	<b>Características/estado</b>
<b>El Carreto</b>	Iglesia	Buen estado
	Centro Escolar (2)	Buen estado
	Dispensario Médico	Buen estado
	Casa Comunal	Buen estado
	Tanque de agua	Buen estado
	Canchas de futbol	Buen estado
<b>Las Magañas</b>	Iglesia	Buen estado
	Cancha de futbol	Buen estado
<b>La Olimpia</b>	Iglesia	Buen estado
	Cancha de futbol	Buen estado
<b>La Mascota</b>	Iglesia	Buen estado
	Cancha de futbol	Buen estado
	Centro Escolar (3)	Buen estado

*Fuente: Casa de Salud Cantón El Volcán*

## 3.2. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO

### 3.2.1. CLIMA

#### 3.2.1.1. CLIMA EN EL SALVADOR

Desde el punto de vista climatológico, El Salvador se encuentra situado en la parte exterior del Cinturón Climático de los Trópicos, caracterizado por tener unas propiedades térmicas casi constantes durante todo el año y dos estaciones muy marcadas, una lluviosa y otra seca. Las precipitaciones se concentran casi exclusivamente durante la estación lluviosa, si bien, dentro de ella pueden aparecer grandes oscilaciones. Sus valores máximos suelen darse unas semanas después del paso del sol por su cenit.

La estación seca se presenta durante el semestre invernal del hemisferio, que comprende los meses de noviembre a abril, presentándose las máximas temperaturas al final de la misma, en el mes de abril, antes del comienzo de la estación lluviosa.

Con los datos obtenidos a lo largo de más de 50 años se han podido establecer unas fechas promedio para el comienzo y el final de las dos estaciones, así como para los intervalos de transición que hay entre ellas (ver Tabla 3.7).

Otra característica del clima en este país son los vientos alisios, vientos predominantes de rumbo aproximado NE; y los vientos nortes, que transportan aire frío procedente del Ártico hacia los trópicos. Se puede observar, también, un buen desarrollo del sistema que lleva aire del mar hacia tierra y sus zonas inmediatas.

*Tabla 3.7 Duración aproximada de las estaciones.*

<b>Estaciones</b>	<b>Principio</b>	<b>Final</b>	<b>Días</b>
<b>Estación seca</b>	14 de noviembre	19 abril	157
<b>Transición seca-lluviosa</b>	20 abril	20 mayo	31
<b>Estación lluviosa</b>	21 mayo	16 octubre	149
<b>Transición lluviosa-seca</b>	17 octubre	13 noviembre	28

*Fuente: Geólogos del mundo*

### 3.2.1.2. CLIMA EN EL CANTÓN EL VOLCÁN

Como el resto del país, la zona de estudio está dentro de la Región Climática de los Trópicos Semihúmedos. Según la clasificación climática de Köppen (Ver Figura 3.5), se puede dividir, teniendo en cuenta su elevación respecto al nivel del mar, en tres zonas:

- ✓ Sabana tropical caliente. Corresponde a la parte baja de la zona de estudio. Agrupa las zonas situadas entre los 100 y 800 m.s.n.m. de altura sobre el nivel del mar, abarcando el área comprendida desde la carretera del Litoral hasta las faldas del volcán de San Miguel. Las temperaturas medias mensuales oscilan entre 25 y 29°C
- ✓ Sabana tropical calurosa. Se trata de áreas con elevaciones entre 800 y 1200 m.s.n.m. Corresponde a la franja limitada por estas cotas en el volcán de San Miguel. En esta zona se registran temperaturas anuales de 19 a 21°C
- ✓ Clima tropical de las alturas. Este clima afecta a las elevaciones superiores a los 1200 m.s.n.m. Dentro del área de estudio correspondería a las zonas más altas del volcán de San Miguel. Las variaciones de temperatura son de 16 a 19°C

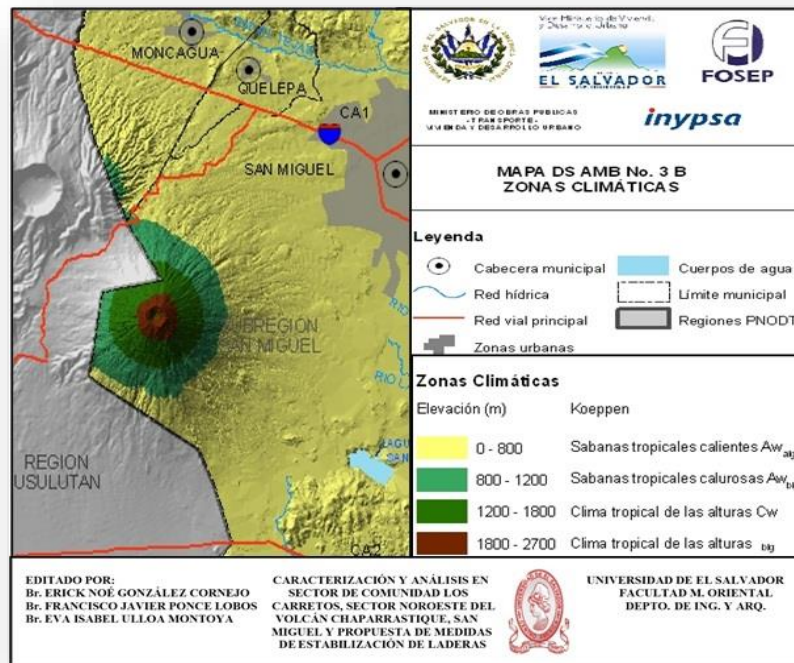


Figura 3.5 Mapa de zonas climáticas, cantón El Volcán. MARN 2009.

### 3.2.2. VEGETACIÓN

En el mapa de ecosistemas de El Salvador se observa que el tipo de vegetación predominante es el de cultivo permanente (cafetales) y en menor escala zonas de cultivo o mezclas de sistemas productivos (ver Figura 3.6). Sin embargo; es importante remarcar que los cafetales han sido sustituidos en un 60% por la siembra de granos básicos. Lo que ha generado gran parte de la pérdida de la cobertura vegetal del suelo, deforestación y erosión en las laderas del volcán Chaparrastique. Además, la venta de la leña de los árboles jóvenes y arbustos constituye una fuente de ingresos económicos.

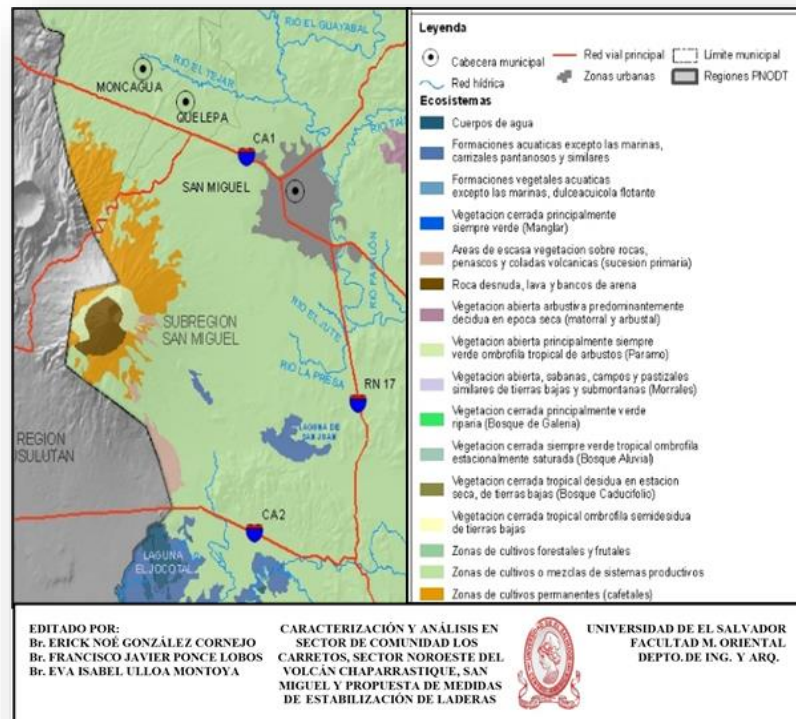


Figura 3.6 Mapa de ecosistemas cantón El Volcán. MARN 2009.

### 3.2.3. GEOLOGÍA

#### 3.2.3.1. GEOLOGÍA REGIONAL

Geológicamente hablando El Salvador es un país extremadamente joven. Según se observa en la Figura 3.7, una cuarta parte del territorio nacional es de edad pleistocénica y tres cuartas partes están cubiertas por rocas de edad terciaria, predominando la época pliocénica. Por eso, las capas de edad cretácica, que cubren aproximadamente un 5% del territorio salvadoreño no juegan un papel importante para la constitución geológica total de la República. Solamente estas últimas capas son de origen sedimentario marino, todas las demás rocas, con pocas excepciones, están originadas por fenómenos volcánicos. En otros lugares se conocen además rocas intrusivas que pertenecen a la época miocénica, es decir también son terciarias<sup>3</sup>.

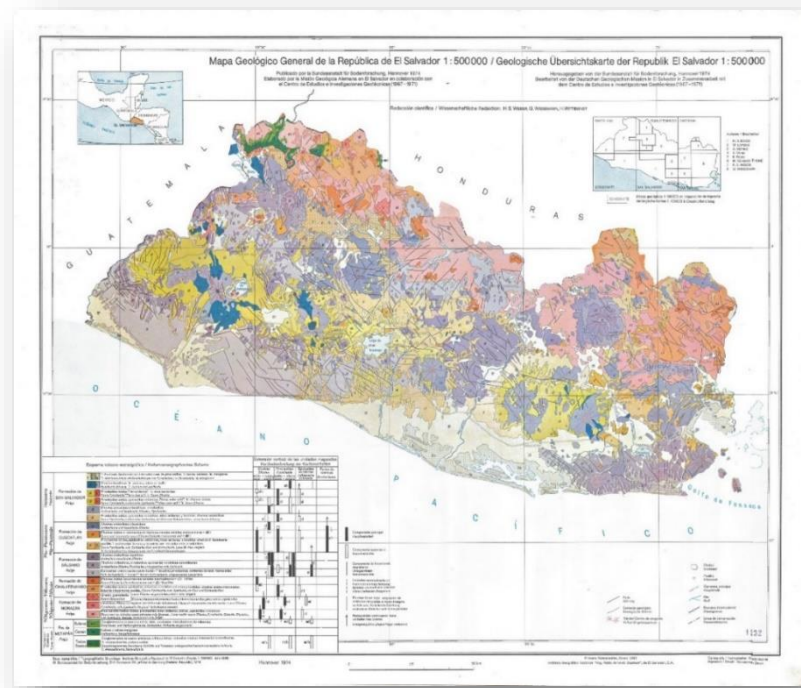


Figura 3.7 Mapa de Formación Geológica El Salvador.

<sup>3</sup> <http://www.snet.gob.sv/ver/geologia/geologia+de+el+salvador/>



### 3.2.3.2. GEOLOGÍA LOCAL

La formación geológica en el cantón El Volcán es la Formación San Salvador (Figura 3.8), la cual está compuesta por productos piroclásticos (98.20%) s2, y por efusivas andesíticas y basálticas s5'a (2.80%). El substrato está constituido por una alternancia de materiales volcánicos granulares (arena o piroclastos) y masivos (coladas de lava), por lo que constituye una zona de recarga acuífera. El cantón es atravesado por distintas quebradas que tienen su nacimiento en la parte alta del volcán y que canalizan el agua no infiltrada en el período de lluvias. Dichas quebradas se pueden convertir en conductores de deslizamientos que se generen en la parte alta del volcán.

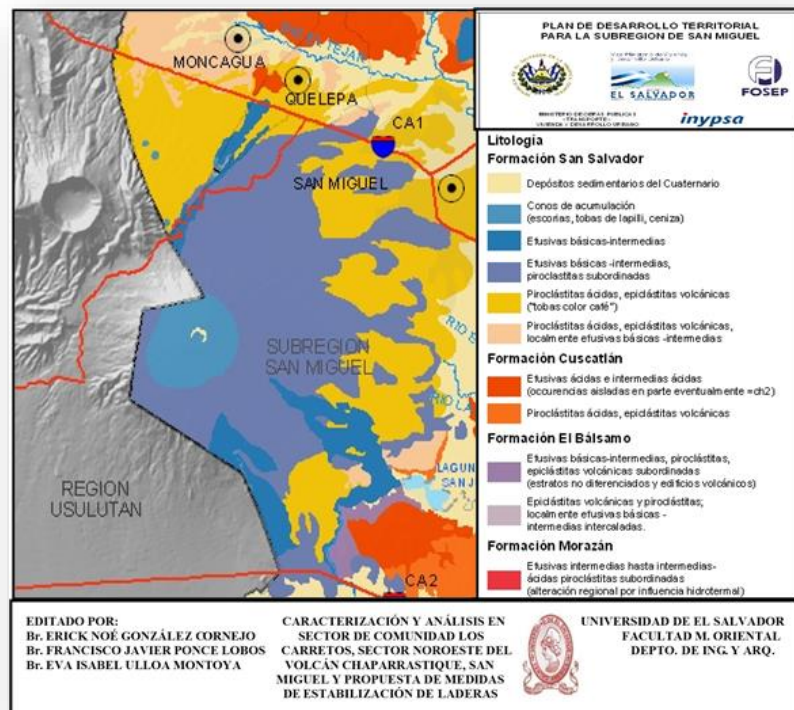


Figura 3.8 Mapa de Litología Cantón El Volcán. MARN 2009.

### 3.2.4. RECURSO HÍDRICO

Los recursos hídricos están constituidos por aguas atmosféricas y subterráneas. Las aguas atmosféricas se precipitan y constituyen el abastecimiento a la cuenca del Río Grande de San Miguel (ver Figura 3.9) que producen la escorrentía superficial y recarga los depósitos de aguas subterráneas (acuíferos). El cantón El Volcán tiene numerosas quebradas: la principal es La Arenera, que da lugar a la cuenca San Esteban<sup>4</sup> (ver Figura 3.10) que es una de las tributarias a la cuenca del Río Grande de San Miguel.

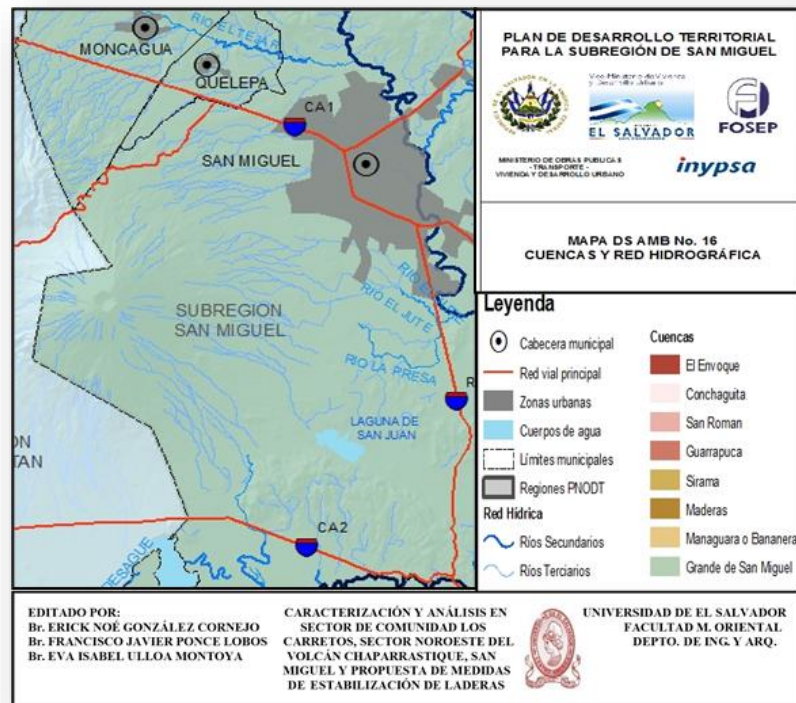


Figura 3.9 Mapa de Cuencas y red hidrográfica, Cantón El Volcán. MARN 2009.

Todas las quebradas son quebradas secas (de invierno) que se caracterizan por el flujo de moderadas a enormes cantidades de agua desde mayo a octubre y presenta condiciones generalmente secas el resto del año.

<sup>4</sup> Delimitación de la cuenca general San Esteban por INGEMA.

La ocurrencia y movimiento del agua subterránea en la zona de estudio depende de los factores litológicos y climatológicos, suelo, estratigrafía y el sistema de drenajes superficiales y subterráneo propios de la zona.

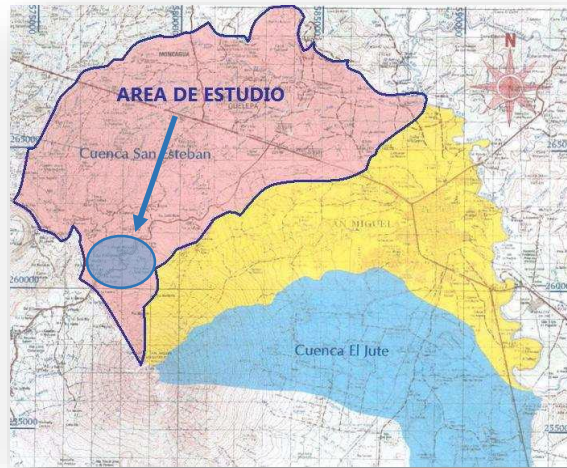


Figura 3.10 Cuenca San Esteban. Fuente: INGEMA

### 3.2.5. SUELOS

#### 3.2.5.1. TIPO Y USO DE SUELO DEL CANTÓN EL VOLCÁN

El tipo de suelo que predomina en el cantón El Volcán son los Andisoles (61.12%), seguido por los Litosoles (38.64%), y en menor predominancia los Latosoles Arcillo Rojizos (0.24%). Estos suelos son originados de cenizas volcánicas, de textura media a mediana gruesa, y profundidad moderada, con buen drenaje.

El uso actual del suelo es predominantemente para fines agrícolas; al sur el cantón se encuentra cultivado de café (48.87%); mientras que el 38.28% se encuentra cultivado de pastos y granos básicos; el área urbana representa el 4.77% del área total; la vegetación arbustiva es el 3.25% y en la parte alta del cantón se encuentran las roquedas de lava en un 4.83% (ver Figura 3.11).

En relación al uso del suelo se establece que a partir del año 1979 hasta el 2002 no existía un cambio significativo en la cobertura boscosa de la zona, pero del año 2002 al 2014 el cambio ha sido bastante notable. Esta conclusión se determinó al comparar la Imagen Satelital del año 2002 con una reciente del año 2014. Coincidiendo con la distintas visitas de campo y la información proporcionada por habitantes del lugar.

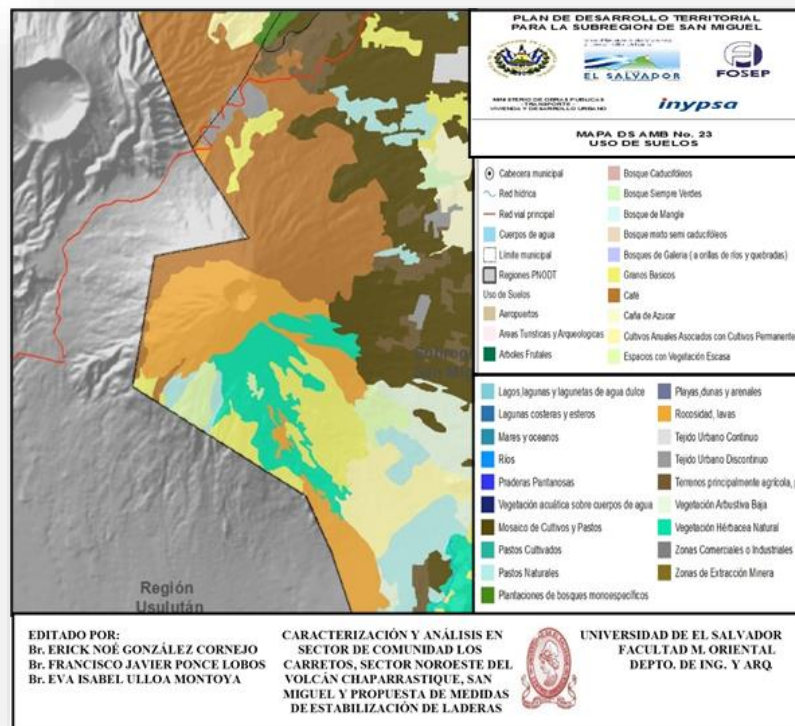


Figura 3.11 Mapa de Uso de suelos, cantón El Volcán. MARN 2009.

### 3.2.5.2. CLASES DE SUELO EN EL CANTÓN EL VOLCÁN

“El uso correcto de la tierra es el primer paso de la buena Agronomía y el control de la erosión, y una buena definición de lo que se quiere decir por uso correcto de la tierra es que cada porción del terreno debe usarse de acuerdo con su capacidad para tener una producción económica y sustentable”; Hudson, 1981

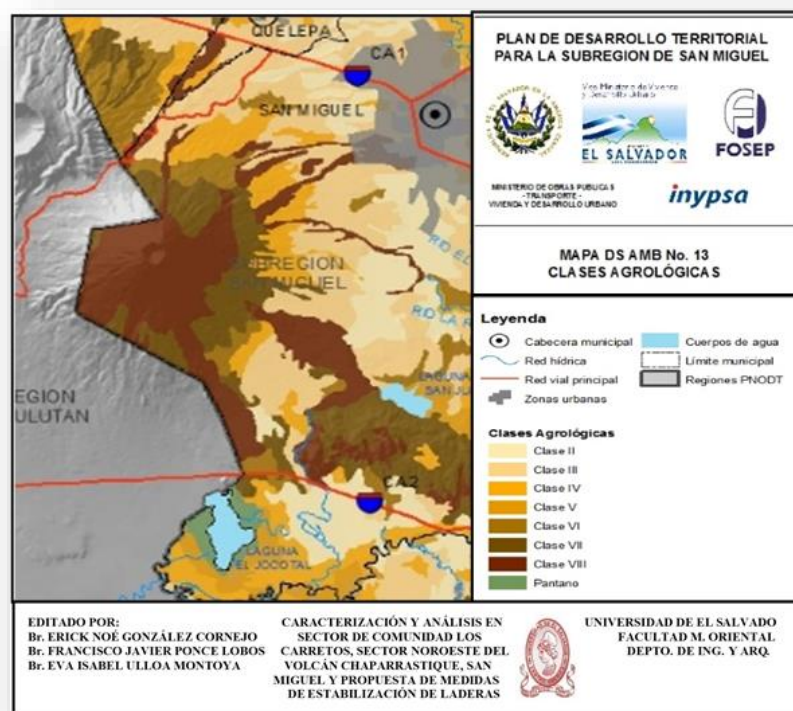


Figura 3.12 Mapa de Clases Agrologicas, cantón El Volcán. MARN 2009.

**Clases de capacidad:** Son grupos de subclases o unidades que presentan el mismo grado relativo de riesgo o limitaciones. Las limitaciones del suelo en cuanto al uso aumentan progresivamente desde Clase I a la VIII

Tabla 3.8 Descripción de los diferentes tipos de tierra.

<b>Clase I</b>	<b>Adecuadas, en general, para cualquier uso agronómico</b>
<b>Clase II</b>	Limitaciones de uso son pocas y son tierras que requieren prácticas cuidadosas de manejo y moderadas prácticas de conservación. Estas son fáciles de aplicar.
<b>Clase III</b>	Tierras que tienen algunas limitaciones para los cultivos intensivos y requieren prácticas y obras especiales de conservación, algo difíciles y costosas de aplicar.
<b>Clase IV</b>	Las tierras de estas clases tienen severas limitaciones que restringen la elección de plantas. Requieren cuidadosas prácticas y obras de manejo y conservación costosas de aplicar y mantener.
<b>Clase V</b>	Mal drenaje o pedregosidad/rocosidad. No tienen riesgo de erosión bajo pasturas o bosques. Coinciden generalmente con los bajos con napa alta (Gleysoles) y suelen tener riesgo de inundación
<b>Clase VI</b>	Las Tierras de esta clase tienen limitaciones muy severas que hacen inadecuado su uso para cultivos intensivos y lo limitan para cultivos permanentes como frutales, bosques y praderas. Se requieren usar cuidadosas medidas de conservación y manejo.
<b>Clase VII</b>	Tierras con limitaciones muy severas que los hacen inadecuados para cultivos. Restringen su uso para la vegetación permanente como bosques y praderas los cuales

	requieren un manejo muy cuidadoso. Estas tierras tienen limitaciones permanentes que en general son pendientes muy abruptas y suelos muy superficiales.
<b>Clase VIII</b>	Las tierras de esta clase están restringidas para el uso agrícola. Aptas únicamente para vegetación permanente de protección de vida silvestre o recreación.

*Fuente: Análisis de la situación actual y propuestas de obras de corrección para el control de la erosión hídrica de la quebrada El Tránsito del departamento de San Miguel<sup>5</sup>*

Se consideran a las clases I, II, III y IV adecuadas para prácticas agronómicas intensivas y las clases VI, VII y VIII tierras de uso agrícola limitado. Al aumentar el número que representa a cada clase se dice que la tierra reduce su vocación agrícola y se incrementa la vulnerabilidad ante usos de suelos diferentes a los forestales.

Según el mapa de capacidad de uso del suelo al 2010, los suelos del cantón varían desde los suelos clase III hasta los Clase VIII, según el siguiente orden: Clase IVe1s (27.72%), Clase VIIIs2 (26%), Clase VIIes1 (21%), Clase IVs1 (13.72%); siendo estas clases las que predominan más en este cantón, y en menor predominancia se encuentran las Clases IVs, VIes, VIes2, VIIe2s2, VIIS1, VIIe y IIIe1, que representan el 11.56% (ver Figura 3.12). (CEPRODE 2002).

### 3.2.6. TOPOGRAFÍA

El cantón se extiende entre las cotas topográficas 530 m.s.n.m. y 2,130 m.s.n.m., ésta última en la parte más alta del volcán. La parte alta del cantón tiene pendientes superiores al 70% que ocupan el 13% del área del mismo, siendo esta una pequeña parte del municipio, ya que se trata de la zona alta del volcán de San Miguel; mientras que en la parte media, el 25% del terreno está compuesto por pendientes que oscilan entre 30% a 70%; y en la zona más baja del municipio, el 62% lo ocupan pendientes menores del 30% de inclinación (ver Figura 3.13)

---

<sup>5</sup> Díaz Aparicio, José Francisco y otros. Análisis de la situación actual y propuestas de obras de corrección para el control de la erosión hídrica de la quebrada El Tránsito del departamento de San Miguel. Pág. 166. Tesis UES FMO

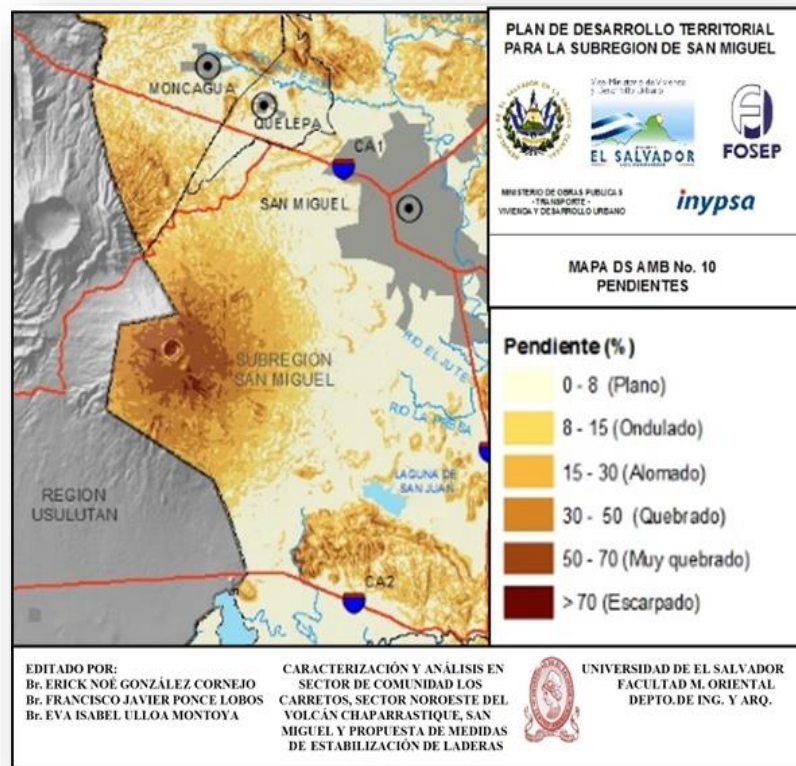


Figura 3.13 Mapa de pendientes, cantón El Volcán. MARN 2009.

### 3.2.7. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

La característica geomorfológica más importante del área de estudio es la presencia del edificio volcánico de San Miguel o Chaparrastique, con 2130 m.s.n.m. Cuya morfología se describe a continuación.

**Ladera alta del volcán:** Corresponde al área abarcada desde la cota 1700 m.s.n.m. hasta la cima, aproximadamente. Se caracteriza por tener las mayores pendientes, superiores al 70% y por estar casi totalmente sin vegetación, con la existencia de materiales sueltos y de roca más o menos compactada, dependiendo de su naturaleza y composición. Está surcada por numerosas quebradas que nacen en esta zona, si bien una parte de ellas sólo recorre unos pocos centenares de metros para luego desaparecer. Los procesos dominantes

son los de erosión y transporte. Cabe destacar la no presencia de material erosionado dentro del cauce de las quebradas.

**Ladera media del volcán:** Su cota más baja estaría sobre los 300 m.s.n.m. y la más alta correspondería al límite inferior de la unidad anterior. En esta zona la pendiente estaría comprendida entre el 10 y 70%. Es donde tiene lugar el transporte de los materiales provenientes de la parte alta, no obstante, en las zonas favorables de pérdida de pendiente o recodos, se observa una sedimentación grande de los materiales más gruesos. Cabe resaltar la presencia de saltos o roturas de pendiente dentro de los cauces en esta zona, que llegan a tener varias decenas de metros de altura.

**Ladera baja del volcán:** Estaría comprendida entre los 100 y 300 m.s.n.m., con pendientes menores a 10%. En esta zona predomina la sedimentación sobre los demás procesos, con un ensanchamiento importante de los cauces. Las quebradas transcurren sobre material poco consolidado, por lo que se encajan dando lugar a márgenes casi verticales, por lo que presentan una alta actividad de derrumbes, añadiéndose este material al que ya transportaba desde las partes más altas. En estas quebradas no llega a darse una colmatación de las mismas por la importante extracción de material para la construcción realizada.

En el relieve existente en la zona se han podido identificar incisiones importantes producidas por las quebradas que drenan los flujos de escombros, que en época de lluvia, bajan de las mismas. Su grado de incisión depende de la naturaleza y tipo de material por el cual discurre, siendo más profundas sobre materiales sueltos que sobre consolidados.

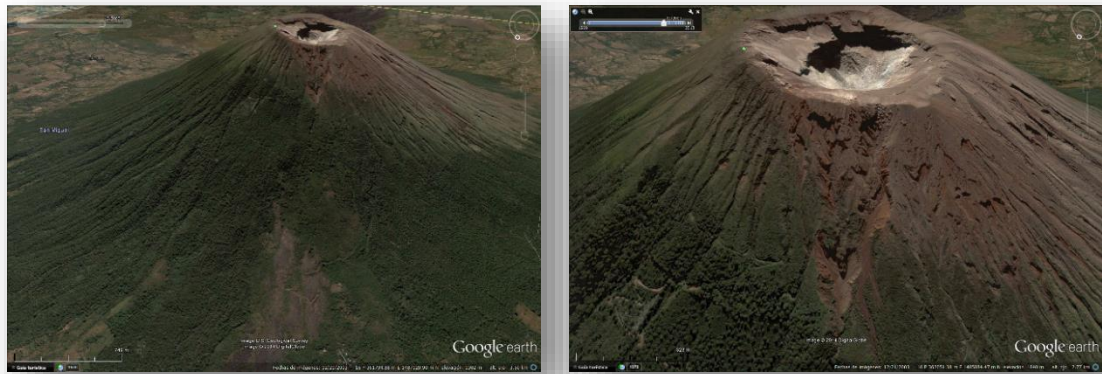
Con respecto a estas grietas y nuevas redes de drenaje que han surgido se debe de mencionar que estos son cambios morfológicos en la ladera del volcán producto de la acción de la erosión, la erupción del volcán, los microsismos, la falta de vegetación, la acción del hombre, entre otros.



Estos cambios morfológicos han tenido un avance extremadamente rápido en un corto periodo de tiempo, generando un grado crítico de inestabilidad en la parte alta de la ladera del volcán Chaparrastique.

A continuación a través de un registro fotográfico se muestra, los cambios morfológicos ocurridos en la ladera noroeste del volcán Chaparrastique.

En la Figura 3.14 se puede observar cobertura vegetal sobre la ladera, no se presentan nuevos drenajes de flujo de escombros, prácticamente el volcán posee una estructura cónica.



*Figura 3.14 Ladera noroeste Volcán Chaparrastique, 21 de diciembre de 2003.*

En la Figura 3.15 se observa que el ancho del área propensa a deslizamiento se ha incrementado, surgen nuevos drenajes de flujo producidos por las escorrentías ocurridas durante el invierno anterior.



*Figura 3.15 Ladera noroeste Volcán Chaparrastique, 17 de noviembre de 2009.*

En la Figura 3.16 se observa como el drenaje principal de la quebrada la Arenera ha incrementado su ancho, el cráter presenta socavamiento en el interior debido a deslizamientos producidos por la falta de cohesión en los materiales acumulados.

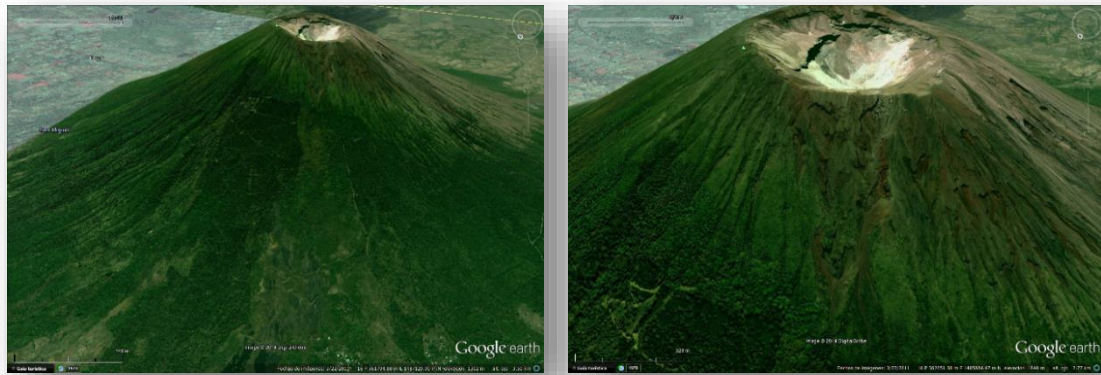


Figura 3.16 Ladera noroeste Volcán Chaparrastique, 22 de marzo de 2011.

En la Figura 3.17 el área del cráter se encuentra completamente erosionado, se producen pequeños deslizamientos constantes que afectan la ladera del mismo, a lo largo de la ladera se observa una creciente erosión y deforestación originada por la quema y tala de los árboles.

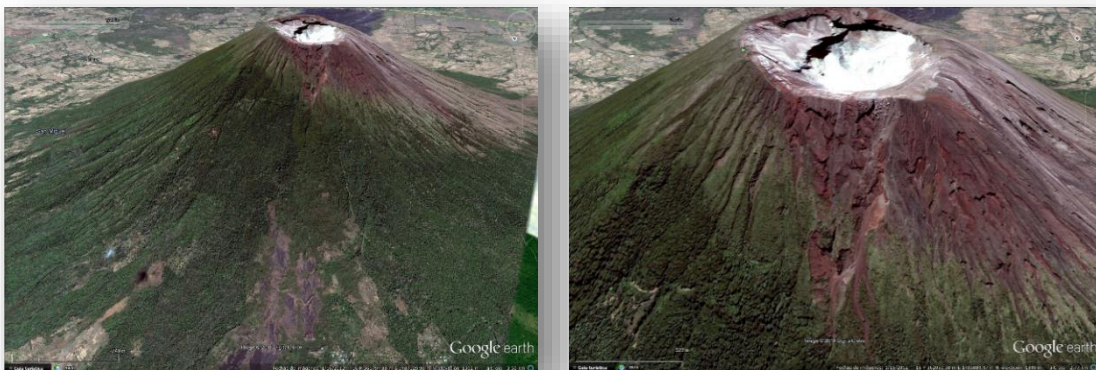
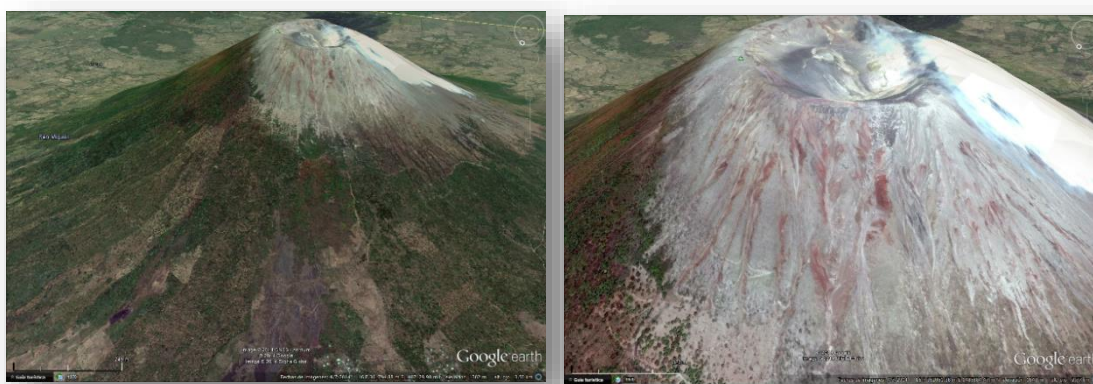


Figura 3.17 Ladera noroeste Volcán Chaparrastique, 16 de enero de 2012.

Finalmente en la Figura 3.18 se observan las condiciones morfológicas de la ladera noroeste del volcán Chaparrastique al día de hoy; el área de inestabilidad es 162,500.0 metros cuadrados según mediciones efectuadas, el acceso al cráter es prácticamente imposible dada la inestabilidad de la zona y los cortes de las vías de accesos originados por el desplazamiento de los flujos, la deforestación y erosión de la zona alta y media de la ladera del volcán se han incrementado producto de la erupción ocurrida el 29 de



*Figura 3.18 Ladera noroeste Volcán Chaparrastique, 07 de abril de 2014.*

diciembre del 2013 y posteriores emanaciones de ceniza, la cual ha generado pérdidas en el área cafetalera de la zona.

### **3.3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

A continuación se hace una breve descripción de las zonas de la ladera noroeste del volcán Chaparrastique donde fueron realizados los ensayos de campo y extraídas las muestras para la realización de los ensayos de laboratorio.

Debido a la magnitud del área de estudio se ha dividido en tres zonas que comprenden la zona alta, media y baja de la ladera noroeste del volcán.

### 3.3.1. ZONA ALTA DE LA LADERA NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE

- a. Observaciones/ Descripción: esta parte del área de estudio está ubicada al norponiente del volcán Chaparrastique, en esta zona se encuentran los depósitos de sedimentos sueltos, se presentan grandes grietas, suelos erosionados, falta de vegetación, pendientes pronunciadas mayores de 70% y cárcavas en las paredes



*Figura 3.19 Zona alta de la ladera noroeste del volcán Chaparrastique-área de estudio.*

de la ladera.

- b. Antecedentes: el tipo de material, la falta de cohesión, la pendiente, la erupción ocurrida en diciembre de 2013, entre otros; han aumentado la ocurrencia de deslizamientos de suelos y caída de rocas, que antes se presentaban de manera esporádica, ahora ocurren de manera constante.
- c. Análisis de la amenaza: la deforestación y la falta de obras de conservación de suelo en este terreno aceleran el proceso de erosión, por lo tanto al presentarse lluvias se tendrá un aumento de escorrentía en el lugar, el cual al incluir los sedimentos sueltos se generarán grandes lahares de detritos, que se movilizarán hasta la parte baja del volcán.
- d. Tipo de amenaza: Caídas de rocas, aumento de la escorrentía, deslizamiento de suelos y lahares de escombros.
- e. Elementos expuestos: vías de acceso.

- f. Recomendaciones: aplicación de obras de conservación de suelos.
- g. Lugar de extracción de las muestras:

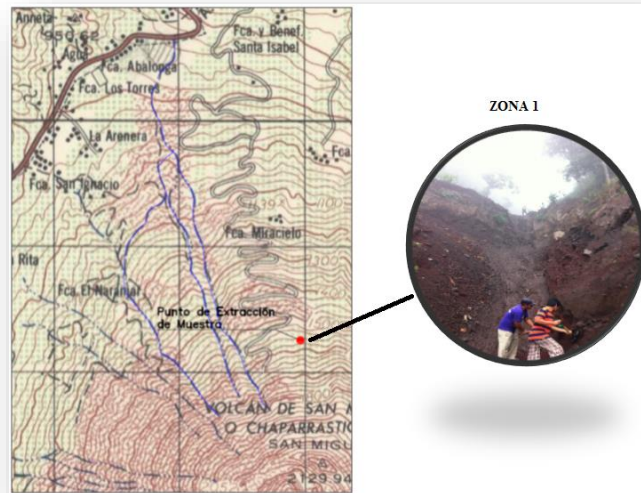


Figura 3.20 Punto de extracción de muestras, zona alta.

### 3.3.2. ZONA MEDIA DE LA LADERA NOROESTE VOLCÁN CHAPARRASTIQUE

- a. Observaciones/ Descripción:
  - ✓ La zona 2 para el estudio geotécnico lo constituye la parte media de la ladera noroeste del volcán Chaparrastique.
  - ✓ Se observa: cultivos de café, pastos naturales, árboles frutales, cultivos agrícolas, secciones de rocas volcánicas.

- ✓ El cauce de las quebradas está compuesto de talpetate lo que provoca que el flujo del lahar que desciende de la parte alta del volcán se desplace a una gran velocidad. También se observó la práctica de quema como preparación de la tierra para el cultivo agrícola; gran porcentaje de la deforestación de la zona es resultado de la tala incontrolada de árboles.



*Figura 3.21 Zona media de la ladera noroeste del volcán Chaparrastique-área de estudio.*

- b. Antecedentes: existen drenajes propensos a transportar flujos de escombros, además en todas las quebradas existentes en esta zona se encontraron depósitos de lahares endurecidos con espesores máximos de 1,5 metros.
- c. Análisis de la amenaza: surgimiento de nuevas quebradas con lo cual el territorio de amenaza se amplía.
- d. Tipo de amenaza: aumento de escorrentía, lahares de escombros.
- e. Elementos expuestos: vías de acceso y cultivos agrícolas y cafetales.
- f. Recomendaciones: aplicación de obras de conservación de suelos, construcción de muros derivadores de flujo y resumideros para reducir la velocidad del flujo de escombros.
- g. Lugar de extracción de las muestras:

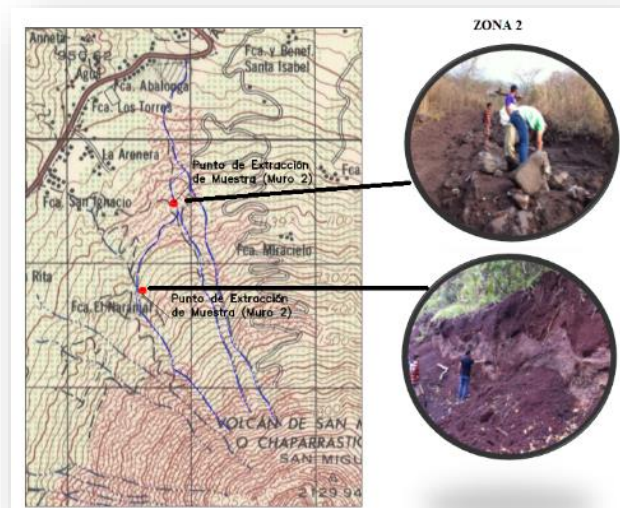


Figura 3.22 Puntos de extracción de muestras, zona media.

### 3.3.3. ZONA BAJA DE LA LADERA NOROESTE VOLCÁN CHAPARRASTIQUE

- a. Observaciones/ Descripción: Esta zona es la más afectada por los flujos de escombros que descienden desde el cráter del volcán y es donde se encuentra el tejido poblacional. El problema se incrementa debido a la convergencia de las quebradas principales en un mismo punto ubicado a unos 400 metros arriba del caserío; para enfrentar dicha situación los vecinos del lugar han hecho pequeños muros de mampostería en sus terrenos, colocan también sacos con arena formando barreras para impedir el ingreso de flujo de escombros a sus casas, pero debido a las dimensiones del lahar estas medidas no han funcionado.
- b. Antecedentes: la ocurrencia de lluvias en la parte alta del volcán Chaparrastique es un desencadenante de los diversos lahares de escombros que afectan cada invierno a la población que reside en la Comunidad Los Carretos, generando pérdidas en la infraestructura, etc.



Figura 3.23 Zona baja de la ladera noroeste del volcán Chaparrastique-área de estudio.

- c. Análisis de la amenaza: la deforestación cauce arriba y la falta de obras de conservación de suelo en los terrenos, aumentan el caudal y la escorrentía de los lahares que afectan a la población.
- d. Tipo de amenaza: caída de rocas, aumento de la escorrentía, acumulación de sedimentos y lahares.
- e. Elementos expuestos: vías de acceso, viviendas, población residente en el lugar, cultivos, etc.
- f. Recomendaciones: aplicación de obras de conservación de suelos y reubicación de las personas residentes en el área afectada.

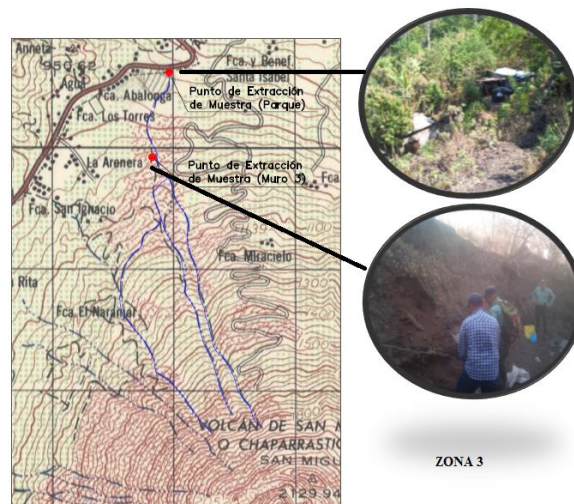


Figura 3.24 Puntos de extracción de muestras zona baja.



### 3.4. ESTUDIO TOPOGRÁFICO

La topografía de un sitio de deslizamiento produce información básica para el análisis de los movimientos, por lo que se efectuó un levantamiento topográfico (ver Figura 3.20) en cada una de las zonas analizadas y de esta forma conocer la geometría de la ladera, necesaria para la elaboración de perfiles y posterior análisis de estabilidad.



Figura 3.25 Levantamiento Topográfico.

### **3.4.1. TOPOGRAFÍA (ALTIMETRÍA Y PLANIMETRÍA)**

La información obtenida del levantamiento topográfico efectuado en la zona de estudio, se desglosa gráficamente de la manera siguiente:

Plano de Ubicación (Anexo A1): en el plano de ubicación se muestra los límites de la zona en estudio, las zonas de acceso y las estructuras cercanas relevantes para el análisis y posterior diseño de las obras propuestas.

Plano Topográfico (Anexo A2): el plano topográfico es una representación del relieve de la superficie de la zona de estudio a una escala definida de 1:15000. En él se incluyen curvas de nivel, que permiten reflejar la forma de la superficie de la Tierra en ese sector.

Planta de Quebrada (Anexo A3, Anexo A5 y Anexo A7): la información mostrada en estos planos es referente a la secciones transversales en los causes de las quebradas en estudio.

Perfil de Quebrada (Anexo A4, Anexo A6 y Anexo A8): en estos planos se visualiza el perfil longitudinal de cada quebrada, se observa además las diferentes cotas de elevación y la ubicación de las obras propuestas y de las existentes.

### **3.5. ESTUDIO GEOTÉCNICO**

Una vez hecho el levantamiento topográfico y habiendo plasmado gráficamente en planos las características físicas del lugar (planimetría, curvas de nivel, etc.), es posible comenzar con el estudio geotécnico y así obtener los diferentes parámetros que se necesitan obtener del material que contiene la ladera en estudio.

El objetivo de realizar el estudio geotécnico es conocer la naturaleza y las propiedades físicas de los materiales existentes en la zona con el fin de tener un mayor entendimiento de la problemática del lugar y del comportamiento de dichos materiales.

Para conocer las propiedades de los materiales se necesita hacer el ensayo de clasificación de suelos (ASTM D-2487), el cual los define mediante dos características que son el tamaño de las partículas y el índice de plasticidad. Dichas características pueden ser determinadas mediante los ensayos de límites de Atterberg (ASTM D-4318) y el análisis granulométrico (ASTM D-422). La descripción visual manual de los suelos (ASTM D-2488) brinda una caracterización rápida de muchos parámetros físicos de los suelos.

Para realizar el análisis de estabilidad de la ladera, se necesitan conocer parámetros de los materiales que la conforman como la cohesión y el ángulo de fricción interna. Tales parámetros pueden ser encontrados mediante la realización del ensayo de corte directo (ASTM D-3080), el cual requiere que se realicen previamente los ensayos de contenido de humedad (ASTM D-2215) y el de densidad in situ (ASTM D-1556).

La metodología utilizada para la realización de los ensayos de suelos se representa gráficamente en la Figura 3.26.

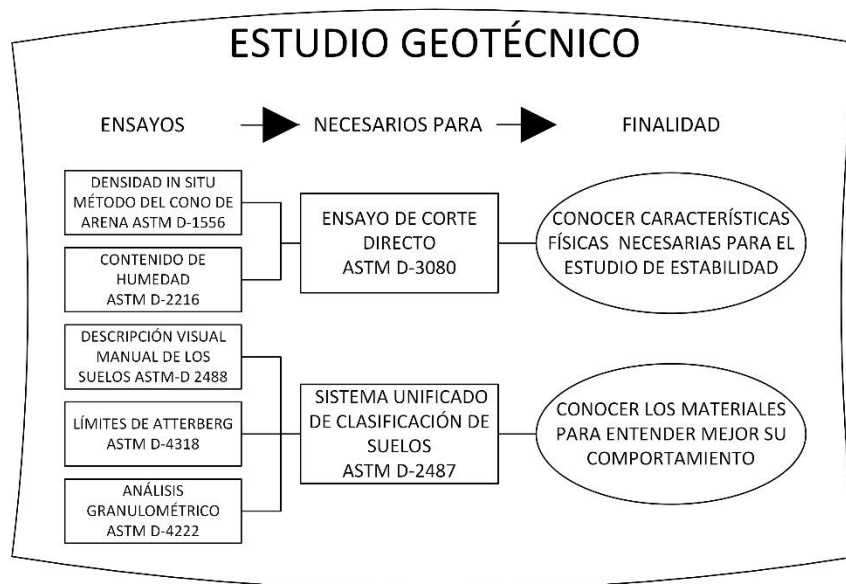


Figura 3.26 Metodología utilizada en el estudio geotécnico.

Dentro de la metodología para recolección de datos de un estudio geotécnico, se enumeraron cuatro pasos esenciales:

- ✓ Reconocimiento de áreas inestables y deslizamientos
- ✓ Muestreo
- ✓ Ensayos
- ✓ Presentación de resultados

### 3.5.1. RECONOCIMIENTO DE ÁREAS INESTABLES Y DESLIZAMIENTOS

Durante el mes de marzo, 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 las visitas efectuadas se pudieron identificar, además de los posibles estacionamientos para el levantamiento topográfico, los escarpes, afloramientos de roca, grietas, la infraestructura dañada, etc.



Figura 3.27 Deslizamiento recientes quebrada principal.

### 3.5.2. DESCRIPCIÓN DE TRABAJO DE CAMPO

La etapa de campo se llevó a cabo durante 2 meses, correspondientes a marzo y abril de 2014 y posterior monitoreo en el mes de Junio de 2014. En esta etapa se procedió a la extracción de muestras.

#### 3.5.2.1. MUESTREO

El muestreo se realizó de manera alterada<sup>6</sup>, se extrajeron muestras de cada una de los puntos de extracción previamente definidos en las distintas zonas en las que fue dividida la ladera.

Método de extracción: Manual, a cielo abierto con toma de muestras alteradas.

Sección: 1.0 m x 1.0 m aproximadamente.

Profundidad: 0.5 m, 1.0 m y 1.5 m.



*Figura 3.28 Extracción y protección de las muestras.*

---

<sup>6</sup> Procedimiento de extracción de muestras según Mecánica de suelos y cimentaciones, Crespo Villalaz.

Las muestras fueron debidamente protegidas y llevadas al Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador (Facultad Multidisciplinaria Oriental) para la realización de los ensayos respectivos que permitirán conocer las propiedades geotécnicas del mismo.

Todas las muestras tomadas fueron colocadas en bolsas plásticas separadas por lugar de extracción y debidamente identificadas; completamente selladas para evitar la pérdida de humedad natural.

### **3.5.2.2. ENSAYO DENSIDAD IN SITU MÉTODO DEL CONO DE ARENA ASTM D-1556**

*Tabla 3.9 Normas ASTM utilizadas en los ensayos de campo.*

<b>Ensayo</b>	<b>Norma</b>	<b>Referencia</b>
<b>Ensayo densidad in situ método del cono de arena</b>	ASTM D-1556	ANEXO B1

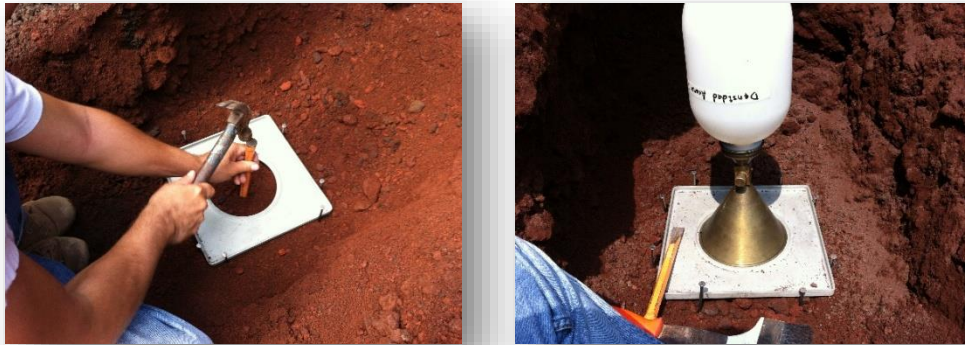
Antes de iniciar el ensayo, se calibró el equipo de densidad de campo; de esta forma se obtuvo el peso volumétrico de la arena que se emplea en el ensayo; dato importante para la determinación de la densidad de campo.

Para iniciar el ensayo se debe limpiar y nivelar el suelo, retirándose el material suelto. A continuación se coloca la placa y se comienza a hacer una perforación, teniendo como guía el agujero interior de la placa, a una profundidad de 10 a 12 cm.

Todo el material que se extrae del agujero se coloca en una bolsa plástica y se pesa.

Para determinar el volumen del agujero, se utiliza el equipo de densidad de campo de la siguiente forma:

Se determina el peso inicial del frasco con la arena. Luego se invierte y se coloca sobre la placa, la cual está colocada en la parte superior del agujero; se abre la llave del cono, permitiendo el paso de la arena. Cuando el agujero y el cono están llenos de arena, se cierra la llave y se procede a determinar el peso final del frasco y la arena contenida en él (ver Figura 3.29).



*Figura 3.29 Realización del ensayo de densidad de campo.*

Por la diferencia de los pesos del frasco más la arena inicial y del frasco más la arena final, se obtiene el peso de la arena contenida en el agujero y el cono. A este valor se le resta el peso de la arena que cabe en el cono, obteniendo de esta forma el peso de la arena contenida en el agujero.

El peso de la arena dividida por su densidad, obtenida en el laboratorio mediante la calibración, da como resultado el volumen del agujero.

Finalmente se determina, en el laboratorio, la densidad seca máxima y la humedad de la muestra recuperada del agujero.

Los resultados de cada ensayo de determinación de la densidad de campo están reflejados en los formatos que se presentan en el **ANEXO B1**.

### 3.5.3. DESCRIPCIÓN DE TRABAJO DE LABORATORIO

Los ensayos de laboratorio tratan de determinar algunos de los parámetros que influyen en la estabilidad de los taludes. Los que se efectuaron se clasifican en dos tipos según las propiedades que se desean obtener: Físicas y Mecánicas.

Para determinar las propiedades físicas de los suelos se desarrollaron los ensayos que se mencionan en la tabla siguiente:

Tabla 3.10 Normas ASTM utilizadas en los ensayos de laboratorio.

Ensayo	Norma	Referencia
Descripción visual-manual de los suelos	ASTM D-2488	ANEXO B2
Contenido de humedad	ASTM D-2216.	ANEXO B3
Límites de Atterberg.	ASTM D-4318	
Clasificación de los suelos	ASTM D-2487	ANEXO B4
Análisis Granulométrico	ASTM D-422	ANEXO B5
Corte Directo	ASTM D-3080	ANEXO B6

#### 3.5.3.1. CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D-2216

El agua es el factor que más comúnmente es asociado a los deslizamientos de laderas, el sector en estudio no es ninguna excepción, los siguientes resultados muestran el contenido de humedad en época de verano.



Figura 3.30 Ensayo de Contenido de humedad.



### Procedimiento para el ensayo

- ✓ Pesar la tara a utilizar.
- ✓ Colocar la muestra de suelo húmedo en la tara. Determinar la masa de la tara + material húmedo.
- ✓ Colocar la tara con el suelo húmedo en el horno de secado hasta obtener una masa constante, manteniendo el horno a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas.
- ✓ Retirar el recipiente del horno después del secado del suelo. Dejarlo enfriar junto con el suelo a una temperatura ambiente o hasta que pueda ser manipulado y el funcionamiento de la balanza no sea afectado.
- ✓ Determine la masa del recipiente y el material secado en el horno

Los resultados de cada ensayo de contenido de humedad para cada muestra están reflejados en los formatos que se presentan en el **ANEXO B3**.

#### 3.5.3.1. DESCRIPCIÓN VISUAL MANUAL DE LOS SUELOS 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.



*Figura 3.31 Ensayo visual manual de los suelos.*

Este es un método preliminar de clasificación de suelos, los datos obtenidos serán corroborados o descartados con los ensayos posteriores. El ensayo se realizó siguiendo los parámetros mostrados en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11 Identificación de los suelos (procedimiento visual-manual).

Nombre del Ensayo	Parámetros	Símbolos	Identificación	
<b>Inspección Visual</b>	Color	Color café oscuro a negro	ON	Suelo con alto contenido de orgánico
		Rojizo a rojo oscuro	RO	Contenido de óxido de hierro, combinaciones químicas de hierro
		Amarillo a café	AC	Contenido de hierro o hierro hidratado
		Blanco	B	Contenido de sílice, limo, compuestos de aluminio
	Forma	Muy regular	MA	Canteras
		Angular	AG	Lentejas, piedras volcánicas y chispas
		Semi angular	SA	Gravas
		Muy redondeada	MR	Canto rodado
		Semi redondeada	SR	Piedra de rio
		redondeado	R	Canto rodado
<b>Sedimentación</b>	Inmediata	I (%)	Arena	
	Un minuto	UM (%)	Limo	
	Una hora o mas	UH (%)	Arcilla	
<b>Sacudimiento</b>	Reacción rápida	RR	Limo inorgánico, polvo de roca, arena muy fina	
	Reacción lenta	RL	Limo, arcilla limosa	
	No reacciona	NR	Turba (materia orgánica)	
<b>Rotura</b>	Ligera	L	Limo inorgánico, polvo de roca, arena limosa	
	Media	M	Arcilla inorgánica, (plasticidad entre baja y media)	
	Alta	A	Arcilla inorgánica, (altamente plástica)	
<b>Plasticidad</b>	Cilindro tenaz	CT	Arcilla de alta plasticidad	
	moderada	CM	Suelo de plasticidad media	
	Cilindro débil	CD	Suelo de baja plasticidad	
<b>Olor</b>	Mal Olor	MO	Suelos orgánicos	
<b>Reacción al HCL</b>	Efervescencia	E	Carbonato de calcio	
<b>Brillo</b>	Superficie brillante	SB	Arcilla muy plástica	
	Superficie mate	SM	Limo, arcilla de baja plasticidad	
<b>Sonido</b>	Chasquido	CH	Arena fina	
	Sin Chasquido	S. CH	Arcilla plástica o limo sin arena	

Fuente: Mecánica de suelos; Juárez Badillo

Resultados del Ensayo Visual Manual para la muestra #1, Zona Alta Volcán Chaparrastique Comunidad Los Carretos.

Tabla 3.12 Resultados ensayo Visual manual.

Nombre del Ensayo	Parámetros	Símbolos	Identificación	
<b>Visual manual</b>	Color	Rojizo a rojo oscuro	RO	Contenido de óxido de hierro, combinaciones químicas de hierro
	Forma	Angular	AG	Lentejas, piedras volcánicas y chispas
<b>Sedimentación</b>	Inmediata	I (%)	Arena	
<b>Sacudimiento</b>	Reacción rápida	RR	Limo inorgánico, polvo de roca, arena muy fina	
<b>Rotura</b>	Ligera	L	Limo inorgánico, polvo de roca, arena limosa	
<b>Plasticidad</b>		NP		
<b>Olor</b>		SO		
<b>Brillo</b>	Superficie mate	SM	Limo, arcilla de baja plasticidad	
<b>Sonido</b>	Chasquido	CH	Arena fina	

Fuente: Grupo de Tesis

Los resultados de cada ensayo de descripción visual-manual de cada muestra están reflejados en los formatos que se presentan en el **ANEXO B2**.

### 3.5.3.2. LÍMITES DE ATTERBERG ASTM D-4318

El ensayo de plasticidad no se desarrolló ya que todas las muestras carecían de cohesión, por lo cual fue imposible la realización de cada parámetro del ensayo de los Límites de Atterberg. Por lo que se clasifica al material en relación a esta prueba como **no plástico**.

### 3.5.3.3. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D-2487

En el campo se pueden encontrar una gran variedad de suelos que, dependiendo tanto del lugar como de la profundidad en la que este se encuentre variaran sus características. Es debido a esto que es importante determinar el tipo de suelo para conocer sus principales características y a partir de esta información poder tomar decisiones al momento del

diseño. En la Figura 3.32 se muestran los distintos grupos y símbolos de la clasificación de los suelos según el USCS.



Figura 3.32 Diagrama de flujo para suelos tipo grava y arenosos.

Los resultados de cada clasificación están reflejados en los formatos que se presentan en el ANEXO B4.

### 3.5.3.4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM D-4222

El tamaño de las partículas que constituye un suelo permite clasificarlo por sus distintos diámetros.

La prueba se realiza por el cribado del suelo a través de diferentes mallas, a esto se le conoce como “análisis granulométrico”.

Las mallas utilizadas en este ensayo son:

- Para las gravas: 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8"
- Para las arenas: la malla N° 4, N° 10, N° 16, N° 40, N° 100 y N° 200

El método para la realización del análisis granulométrico fue el combinado.



Figura 3.33 Análisis granulométrico.

En la Tabla 3.13 se presenta un resumen de los datos obtenidos del análisis granulométrico de las muestras alteradas extraídas de cada zona de estudio, en el **ANEXO B5** se presentan todos los datos de los ensayos granulométricos realizados.

Tabla 3.13 Resumen de resultados de pruebas de granulometría.

Ubicación	% gravas	% de arenas
Muestra n° 1 parte alta de la ladera	31.84	68.16
Muestra n° 2 parte media de la ladera	32.11	67.89
Muestra n° 3 parte media de la ladera	44.37	55.63
Muestra n° 4 parte baja de la ladera	34.02	65.98
Muestra n° 5 parte baja de la ladera	27.46	72.54

Fuente: Grupo de Tesis.

### 3.5.3.5. ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D-3080

Para determinar las propiedades mecánicas de los suelos se desarrolló el ensayo de corte directo.

El objetivo de determinar las propiedades mecánicas del suelo en nuestro trabajo es para conocer parámetros del suelo como el ángulo de fricción y la cohesión, datos que serán utilizados posteriormente para el análisis de estabilidad y diseño de las obras. El ensayo que se realizó para este efecto es el de corte directo.

La finalidad de los ensayos de corte, es determinar la resistencia de una muestra de suelo, sometida a fatigas y/o deformaciones que simulen las que existen o existirán en terreno producto de la aplicación de una carga.

Los especímenes se prepararon utilizando el método de vibrado, fueron moldeados esparciendo cada capa, luego se procedió al vibrado hasta que la masa acumulada de suelo colocada en la caja de corte estuviera compactada a un volumen conocido o hasta obtener el peso específico deseado.



Figura 3.34 Ensayo de corte directo.

A continuación se presenta una tabla resumen con los datos obtenidos del ensayo de corte directo.

Tabla 3.14 Resumen de resultados del ensayo de corte directo.

Ubicación	$\phi$	C
Muestra n° 1 parte alta de la ladera	33.9°	0.0347
Muestra n° 2 parte media de la ladera	32.46°	0.0204
Muestra n° 3 parte media de la ladera	38.2°	0.000
Muestra n° 4 parte baja de la ladera	38.0°	0.000
Muestra n° 5 parte baja de la ladera	36.9°	0.0034

Fuente: Grupo de Tesis

### 3.5.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De los ensayos de laboratorio realizados a las diferentes muestras obtenidas se establecen los siguientes análisis:

- ✓ Análisis e interpretación de resultados del trabajo de campo

La combinación de estos factores naturales y antropogénicos han provocado cambios en el régimen de la presión del agua en el subsuelo, cambios en la topografía de las quebradas, imposición de sobrecargas y deforestación, todos estos son factores que van en detrimento de la estabilidad general de la ladera.

Desde un punto de vista geológico, y también geomorfológico, se aprecia que en el área sólo afloran materiales volcánicos de finos a gruesos denominados piroplásticos y lavas jóvenes originales en su mayoría del volcán Chaparrastique.

Por la información recolectada se puede definir que el tipo de movimiento que ocurre en el lugar es de movimiento de lahar ya que son mezclas de lodo, sedimentos y escombros volcánicos movilizados por agua lluvias.

Se pudo observar luego de la ocurrencia de una tormenta en la zona, que en el material depositado en los muros de retención pertenecen a escoria volcánica y roca de flujo de lava acompañada de un porcentaje de arena limosa, estos materiales se consideran como inestables y de baja resistencia.

Otra de las causas del proceso de inestabilidad del lugar son las cárcavas de la corona del volcán Chaparrastique ya que está en continuo deslizamiento con diferentes magnitudes y este deslizamiento se van a depositar en las diferentes quebradas, de igual manera como resultado de los lahares ocurrido se han formado nuevas quebradas que incrementan la vulnerabilidad de la zona.

✓ Análisis e interpretación de resultados de los trabajos de laboratorio.

Según la descripción visual-manual que se efectuó a las muestras extraídas en la ladera el material que predominó es la arena limosa con grava, con variaciones únicamente en el contenido de humedad de las muestras. También se observó que la plasticidad de los materiales es nulas, la cual fue corroborada en el ensayo de límites de Atterberg.

Debido a la falta de cohesión de las partículas el ensayo de los límites de Atterberg dio como resultado la clasificación de los suelos como no plásticos.

Los resultados del análisis granulométrico muestran que todos los materiales de la zona tienen mayor porcentaje de arenas que de gravas, por lo que se clasifican como arenas. Estas arenas carecen de materiales finos que aporten cohesión, plasticidad y densidad al suelo; corroborado en el ensayo de densidad in situ, el cual muestra suelos con densidades bajas, lo que quiere decir que son materiales “suelos” y de ahí su poca capacidad de adherencia de sus partículas.

El material, debido a su falta de plasticidad, no permitió la extracción de las muestras inalteradas, por lo que se optó realizar una extracción de muestras alteradas para la realización de todos los ensayos.

El ensayo de corte directo permite obtener los parámetros de cohesión y resistencia al corte de los suelos, que son los que se necesitan para realizar el análisis de estabilidad en la ladera. Dichos resultados concuerdan con los de clasificación y densidad ya que muestran suelos con nula cohesión y los ángulos de fricción interna son característicos propios de los ángulos presentados en suelos arenosos.



### 3.6. ESTUDIO HIDROLÓGICO

#### 3.6.1. CRITERIOS UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Para llevar a cabo el estudio hidrológico se recopiló la información básica siguiente:

- ✓ Datos de precipitación máxima anual obtenidos de la estación climatológica San Miguel UES M-24, ubicada en el departamento de San Miguel en las siguientes coordenadas:

Latitud: 13°26'20.1" N

Longitud: 88° 09' 32.7" W

Elevación: 117 m.s.n.m.

- ✓ Información de la zona de vegetación en la cuenca.
- ✓ Uso del suelo.
- ✓ Muchas de las características físicas de la microcuenca, necesarias para calcular el caudal máximo o pico, se determinaron utilizando el software *AutoCAD Civil 3D*.
- ✓ El estudio hidrológico consiste en el análisis de varias microcuencas pertenecientes a la subcuenca San Esteban, con el objeto de calcular los caudales máximos que pasan por distintos puntos de interés. Así como también determinar las características físicas e identificar el coeficiente de escorrentía de las subcuencas; todo esto será evaluado para un periodo de retorno de 10 años.
- ✓ Los valores de escorrentía fueron considerados a partir de los valores propuestos de Ven Te Chow (Véase Tabla 3.15).
- ✓ El método para el cálculo de caudales máximos utilizado en el estudio es el de hidrograma unitario triangular equivalente.
- ✓ Dichos caudales son afectados por un porcentaje de sedimentos debido a que éstos son arrastrados a causa de la inestabilidad de los suelos y de la fuerza con la que

desciende el agua. Los caudales aumentarán en un 60% su magnitud<sup>7</sup> debido a los sedimentos que arrastran. También se considera, a efectos de simplificar los cálculos, que el tiempo de concentración del agua con sedimentos es igual al tiempo de concentración del agua sin sedimentos.

Tabla 3.15 Valores de coeficiente de rugosidad.

Características de la superficie	Período de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
	Coeficiente de escorrenría						
<b>Área de cultivos</b>							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
<b>Pastizales</b>							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<b>Bosques</b>							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Fuente: Hidráulica de canales abiertos. Ven Te Chow.

Se requiere realizar un análisis hidráulico de la sección transversal de cada punto de interés para poder determinar si dicho sector es capaz de transportar los caudales que por él estarán pasando. Si los caudales sobrepasan el área hidráulica de los puntos de interés, se propondrán obras para mejorar la capacidad hidráulica de cada lugar. Estos caudales serán analizados en el programa Hcanales.

<sup>7</sup> <http://www.snet.gob.sv/Geologia/Vulcanologia/memorias/mtecVSM6.pdf>, pág. 21. Último acceso a página web en el 23/10/14 a las 22:00.

### **3.6.2. ANÁLISIS DEL LUGAR**

En esta sección se realiza una descripción general de microcuenca Santa Isabel<sup>8</sup>. Así como también se definen los puntos de interés en los cuales se basará el estudio hidrológico; y también se elaboran las curvas I-D-F para los datos de lluvia obtenidos de la estación San Miguel.

#### **3.6.2.1. GENERALIDADES DE LA MICROCUENCA SANTA ISABEL**

La microcuenca Santa Isabel pertenece a la sub cuenca San Esteban, la cual es afluente del río Grande de San Miguel. La zona de estudio se encuentra ubicada en un sector de la quebrada La Arenera, sus escurrimientos superficiales y subterráneos tienen dirección hacia el noroeste.

Se identificó el drenaje superficial que contribuye a transportar la escorrentía hasta el punto de interés, y a través de esta identificación se realizó la delimitación de la microcuenca Santa Isabel.

#### **3.6.2.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

La comunidad Los Carretos es afectada por la desembocadura de la microcuenca Santa Isabel. La cual está conformada por cuatro quebradas:

---

<sup>8</sup> Se llamará así por estar ubicada en la finca Santa Isabel.

- ✓ Quebrada 1: Es la quebrada principal de la microcuenca Santa Isabel. Tiene una longitud de 3,467.98 m; su altura máxima es de 1,797.32 m.s.n.m. y la mínima es de 830.32 m.s.n.m.

Entre las obras de mitigación que se encuentran sobre la quebrada 1 está el muro 3. El cuál es un muro de retención ubicado a 952.74 m.s.n.m. También se encuentran varios resumideros a lo largo de la quebrada los cuales ayudan a mitigar los efectos de las lluvias que suceden en el lugar.

La quebrada 1 desemboca en la carretera de Placitas a la altura de la comunidad Los Carretos, siendo esta afectada fuertemente por los caudales de agua y sedimento que acarrea la quebrada.

Esta quebrada está influenciada por el caudal que baja de la quebrada 2.

- ✓ Quebrada 2: La quebrada 2 tiene una longitud de 2,300.89 m; su altura máxima es de 1,665.93 m.s.n.m. y la mínima de 985.71 m.s.n.m.

A lo largo de esta quebrada se encuentran 2 muros de retención: el muro 1, que se encuentra a 1,119.91 m.s.n.m.; y el muro 2, situado a 1,013.62 m.s.n.m.

Desemboca en la quebrada 1 a 987.45 m.s.n.m. y está influenciada por el caudal de la quebrada 3.

- ✓ Quebrada 3: Esta quebrada tiene 2,333.67 m de longitud. Su punto más alto está ubicado a 1,697.90 m.s.n.m. y el más bajo a 1,039.87 m.s.n.m.

En esta quebrada está ubicada una borda de desviación, lo cual ha modificado su cauce. La borda está ubicada a 1,115.20 m.s.n.m. y desvía el cauce de la quebrada dirigiéndolo hacia la quebrada 2, en la cual desemboca a 1,039.87 m.s.n.m.

- ✓ Quebrada Hércules: Esta quebrada está ubicada después de la borda de la quebrada 3. Su longitud es de 1,313.03 m. El cauce de esta quebrada ha sido interrumpido debido a la conformación de la borda de desviación ubicada en la quebrada 3. Por lo que la lotificación Hércules, la cual se veía afectada por el caudal de agua y sedimentos que la quebrada transportaba, ya no sufre por los estragos que ocasionan las lluvias en el lugar.

Es de mucha importancia señalar que la construcción de la borda de desviación ubicada en la quebrada 3 afecta gravemente la comunidad Los Carretos. Esto debido a que desvía el cauce de la quebrada 3 para que desemboque en la quebrada 2 y no en la Lotificación Hércules (como lo hacía anteriormente) aumentando así los caudales que en la comunidad pasan.

### **3.6.2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS DE INTERÉS**

Se han identificado cuatro puntos de interés:

- ✓ Punto de interés 1: Ubicado en la zona de asentamiento poblacional, a una altura de 830.32 m.s.n.m. sobre el cauce de la quebrada 1. Es la zona de acumulación o abanico de escombros donde converge todo el flujo de la ladera noroeste del volcán Chaparrastique. Presenta desbordamientos; los cuales paralizan el tráfico vehicular y peatonal, afectan gravemente las viviendas, la infraestructura vial y el parque Placitas; provocando erosión y fisuras en la superficie del suelo.
- ✓ Punto de interés 2: Ubicado a 1006.03 m.s.n.m. sobre el cauce de la quebrada 1. No se cuenta con ninguna obra de mitigación que ayude a disminuir y controlar el flujo de escombros que descienden del cráter del volcán; por lo que, al no tener ningún obstáculo (el flujo de escombros), desciende a una gran velocidad, afectando gravemente el punto de interés 1.

### **3.6.2.4. DATOS PLUVIALES REGISTRADOS**

Los datos utilizados para el estudio hidrológico son las intensidades de precipitaciones máximas anuales de la estación meteorológica ubicada en San Miguel.

Tabla 3.16 Datos de precipitaciones máximas anuales en estación San Miguel.

<b>INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL (ABSOLUTA)</b>													
<b>En mm/minuto para diferentes períodos.</b>													
<b>ESTACIÓN : SAN MIGUEL UES M-24</b>													
<b>LATITUD: 13° 26' 20.1" N</b>				<b>LONGITUD: 88° 09' 32.7" W</b>				<b>ELEVACIÓN: 117 m.s.n.m.</b>					
<b>AÑO</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>60</b>	<b>90</b>	<b>120</b>	<b>150</b>	<b>180</b>	<b>240</b>	<b>360</b>
1961	4.08	2.66	2.3	2.15	1.87	1.48	1.17	0.81	0.61	0.52	0.4	0.17	0.14
1962	2.04	1.58	1.35	1.3	1.09	0.89	0.72	0.49	0.37	0.3	0.25	0.21	0.11
1963	2.4	2.11	1.92	1.58	1.33	1.19	1.01	0.93	0.35	0.28	0.24	0.23	0.12
1964	2.04	1.92	1.81	1.74	1.68	1.42	1.14	0.8	0.68	0.58	0.44	0.34	0.27
1965	2.1	2.03	1.92	1.67	1.3	0.92	0.76	0.51	0.39	0.32	0.28	0.23	0.18
1966	2.44	2.21	2.13	1.96	1.53	1.17	0.92	0.72	0.29	0.09	0.08	0.07	0.06
1967	5.44	3.78	3.17	2.71	1.88	1.5	1.15	0.99	0.52	0.5	0.36	0.27	0.19
1968	2.54	2.04	1.74	1.71	1.23	0.93	0.75	0.64	0.31	0.26	0.22	0.17	0.13
1969	3.72	2.82	2.45	1.87	1.26	0.9	0.63	0.43	0.29	0.27	0.26	0.17	0.07
1970	2.78	2.56	2.33	2.12	1.54	1.07	0.82	0.72	0.56	0.45	0.39	0.31	0.15
1971	2.08	2.05	1.88	1.67	1.33	1.22	1.02	0.75	0.59	0.22	0.18	0.18	0.09
1972	4	3	2.67	2.5	1.96	1.7	1.38	0.95	0.47	0.38	0.26	0.2	0.18
1973	2.8	2.3	1.94	1.66	1.32	0.96	0.82	0.56	0.38	0.35	0.27	0.21	0.19
1974	2.94	2.37	2.18	1.92	1.45	1.05	0.89	0.62	0.47	0.49	0.47	0.39	0.29
1975	2.54	2.04	1.51	1.28	1.06	0.8	0.63	0.37	0.29	0.25	0.22	0.15	0.13
1976	2.6	1.8	1.54	1.34	1.1	0.89	0.71	0.51	0.41	0.41	0.4	0.35	0.27
1977	2.7	1.71	1.52	1.42	1.01	0.69	0.52	0.35	0.27	0.22	0.19	0.15	0.11
1978	2.8	2.2	1.94	1.75	1.74	1.45	1.41	1.17	1.03	0.84	0.74	0.59	0.41
1979	2.96	2.45	2.1	1.86	1.37	1.09	1.08	0.79	0.6	0.48	0.4	0.19	0.15
1980	2.15	1.98	1.92	1.63	1.37	1.22	0.97	0.68	0.52	0.43	0.36	0.3	0.21
1981	2	1.94	1.94	1.66	1.56	1.28	1.12	0.76	0.58	0.54	0.5	0.16	0.09
1982	Sin datos												
1983	2.38	1.94	1.55	1.62	1.45	1.09	0.87	0.6	0.47	0.41	0.36	0.29	0.21
1984	2	1.9	1.7	1.53	1.28	0.94	0.87	0.71	0.56	0.46	0.39	0.31	0.21
1985	3	2.5	2.13	1.7	1.19	0.8	0.6	0.42	0.37	0.39	0.37	0.34	0.3
1986	Sin datos												
1987	1.78	1.59	1.45	1.41	1.29	1.11	0.98	0.98	0.88	0.78	0.68	0.52	0.36
1988	3.6	2.36	1.97	1.68	1.45	1.14	0.97	0.86	0.7	0.59	0.57	0.52	0.38
1989	3.96	3.92	3.3	2.8	2.3	1.79	1.38	0.95	0.74	0.6	0.5	0.38	0.26
1990	2	1.75	1.57	1.25	1.04	0.73	0.56	0.46	0.37	0.29	0.24	0.18	0.12
1991	1.6	1.32	1.28	1.15	0.93	0.72	0.58	0.4	0.31	0.25	0.22	0.16	0.11
1992	3.8	3	2.67	2.45	2.08	1.58	1.27	0.89	0.68	0.56	0.47	0.36	0.25
1993	1.58	1.2	1.27	1.18	1.05	0.87	0.71	0.59	0.48	0.38	0.33	0.26	0.17
1994	1.7	1.68	1.34	1.13	0.93	0.71	0.57	0.39	0.32	0.33	0.29	0.24	0.17
1995	2.4	2	1.81	1.58	1.24	0.89	0.67	0.45	0.34	0.27	0.22	0.17	0.11
1996	2	1.6	1.33	1.4	1.1	1.04	0.86	0.59	0.44	0.36	0.3	0.22	0.15
1997	2	1.72	1.61	1.54	1.33	1.15	0.93	0.7	0.53	0.42	0.35	0.26	0.18
1998	2.6	2.07	1.67	1.45	1.12	0.82	0.64	0.44	0.34	0.28	0.24	0.19	0.12
1999	2.06	2.01	2.02	2.01	1.75	1.32	1.06	0.74	0.56	0.45	0.37	0.28	0.19
2000	2.34	2	1.93	1.85	1.4	1.03	0.82	0.56	0.43	0.35	0.3	0.23	0.15
2001	2	2	2	1.78	1.43	1.05	0.81	0.57	0.43	0.35	0.29	0.22	0.14
2002	4	3	2.67	2.26	1.59	1.1	0.84	0.56	0.42	0.34	0.28	0.21	0.14

<b>2003</b>	2	2	1.87	1.64	1.42	1.03	0.82	0.62	0.49	0.41	0.35	0.26	0.17
<b>2004</b>	2	1.7	1.33	1.1	0.86	0.7	0.59	0.52	0.41	0.34	0.28	0.21	0.14
<b>2005</b>	2	2	1.77	1.52	1.3	0.92	0.69	0.47	0.37	0.33	0.28	0.22	0.14
<b>2006</b>	2.6	2.3	2.01	1.65	1.23	0.87	0.65	0.45	0.34	0.28	0.25	0.19	0.13
<b>2007</b>	2.74	1.65	1.33	1.36	1.24	1.11	0.86	0.58	0.43	0.35	0.29	0.22	0.14
<b>2008</b>	2.42	2.27	1.97	1.75	1.4	1.03	0.79	0.54	0.41	0.34	0.3	0.24	0.16
<b>2009</b>	2.8	2.45	2.3	2.27	2.12	1.55	1.17	0.78	0.59	0.48	0.41	0.3	0.21
<b>2010</b>	1.2	1.1	1.04	1.05	1	0.82	0.76	0.53	0.41	0.34	0.3	0.23	0.15
<b>2011</b>	2	1.69	1.19	0.92	0.62	0.48	0.36	0.29	0.3	0.24	0.21	0.17	0.13
<b>2012</b>	2.26	2.13	2	2	1.79	1.33	1.07	0.75	0.58	0.48	0.41	0.32	0.21
<b>PROM.</b>	2.56	2.13	1.89	1.69	1.38	1.07	0.87	0.64	0.47	0.39	0.34	0.25	0.18

### 3.6.2.5. ANÁLISIS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA

En el análisis de la curva Intensidad-Duración-Frecuencia (curva I-D-F) se requiere contar con datos de precipitaciones máximas registradas en un período determinado. En nuestro país se utilizan, generalmente, los promedios máximos anuales.

En el presente estudio hidrológico se utilizaron los datos de promedios máximos anuales registrados en la estación San Miguel.

Se tomaron períodos de duración de lluvia de 5, 10, 15, 20, 30, 45 y 60 minutos.

✓ Ajuste de las intensidades máximas anuales

Con la base de datos de las precipitaciones máximas anuales, se procede a ordenar los datos para posteriormente construir la curva I-D-F. Los datos son ordenados de menor a mayor y se calcula su frecuencia a partir de la ecuación:

$$f = \left( \frac{m}{n + 1} \right) \times 100$$

Donde:

f: Frecuencia empírica

m= Posición del dato

n= Número total de datos

Tabla 3.17 Frecuencia de intensidades registradas en la estación San Miguel.

Cálculo de frecuencia de intensidades registradas en la estación San Miguel								
Posición	5 min.	10 min.	15 min.	20 min.	30 min.	45 min.	60 min.	Frecuencia
1	1.20	1.10	1.04	0.92	0.62	0.48	0.36	1.96
2	1.58	1.20	1.19	1.05	0.86	0.69	0.52	3.92
3	1.60	1.32	1.27	1.10	0.93	0.70	0.56	5.88
4	1.70	1.58	1.28	1.13	0.93	0.71	0.57	7.84
5	1.78	1.59	1.33	1.15	1.00	0.72	0.58	9.80
6	2.00	1.60	1.33	1.18	1.01	0.73	0.59	11.76
7	2.00	1.65	1.33	1.25	1.04	0.80	0.60	13.73
8	2.00	1.68	1.34	1.28	1.05	0.80	0.63	15.69
9	2.00	1.69	1.35	1.30	1.06	0.82	0.63	17.65
10	2.00	1.70	1.45	1.34	1.09	0.82	0.64	19.61
11	2.00	1.71	1.51	1.36	1.10	0.87	0.65	21.57
12	2.00	1.72	1.52	1.40	1.10	0.87	0.67	23.53
13	2.00	1.75	1.54	1.41	1.12	0.89	0.69	25.49
14	2.00	1.80	1.55	1.42	1.19	0.89	0.71	27.45
15	2.00	1.90	1.57	1.45	1.23	0.89	0.71	29.41
16	2.04	1.92	1.61	1.52	1.23	0.90	0.72	31.37
17	2.04	1.94	1.67	1.53	1.24	0.92	0.75	33.33
18	2.06	1.94	1.70	1.54	1.24	0.92	0.76	35.29
19	2.08	1.98	1.74	1.58	1.26	0.93	0.76	37.25
20	2.10	2.00	1.77	1.58	1.28	0.94	0.79	39.22
21	2.15	2.00	1.81	1.62	1.29	0.96	0.81	41.18
22	2.26	2.00	1.81	1.63	1.30	1.03	0.82	43.14
23	2.34	2.00	1.87	1.64	1.30	1.03	0.82	45.10
24	2.38	2.00	1.88	1.65	1.32	1.03	0.82	47.06
25	2.40	2.01	1.92	1.66	1.33	1.04	0.82	49.02
26	2.40	2.03	1.92	1.66	1.33	1.05	0.84	50.98
27	2.42	2.04	1.92	1.67	1.33	1.05	0.86	52.94
28	2.44	2.04	1.93	1.67	1.37	1.07	0.86	54.90
29	2.54	2.05	1.94	1.68	1.37	1.09	0.87	56.86
30	2.54	2.07	1.94	1.70	1.40	1.09	0.87	58.82
31	2.60	2.11	1.94	1.71	1.40	1.10	0.89	60.78
32	2.60	2.13	1.97	1.74	1.42	1.11	0.92	62.75
33	2.60	2.20	1.97	1.75	1.43	1.11	0.93	64.71
34	2.70	2.21	2.00	1.75	1.45	1.14	0.97	66.67
35	2.74	2.27	2.00	1.78	1.45	1.15	0.97	68.63
36	2.78	2.30	2.01	1.85	1.45	1.17	0.98	70.59
37	2.80	2.30	2.02	1.86	1.53	1.19	1.01	72.55
38	2.80	2.36	2.10	1.87	1.54	1.22	1.02	74.51
39	2.80	2.37	2.13	1.92	1.56	1.22	1.06	76.47
40	2.94	2.45	2.13	1.96	1.59	1.28	1.07	78.43
41	2.96	2.45	2.18	2.00	1.68	1.32	1.08	80.39



42	3.00	2.50	2.30	2.01	1.74	1.33	1.12	82.35
43	3.60	2.56	2.30	2.12	1.75	1.42	1.14	84.31
44	3.72	2.66	2.33	2.15	1.79	1.45	1.15	86.27
45	3.80	2.82	2.45	2.26	1.87	1.48	1.17	88.24
46	3.96	3.00	2.67	2.27	1.88	1.50	1.17	90.20
47	4.00	3.00	2.67	2.45	1.96	1.55	1.27	92.16
48	4.00	3.00	2.67	2.50	2.08	1.58	1.38	94.12
49	4.08	3.78	3.17	2.71	2.12	1.70	1.38	96.08
50	5.44	3.92	3.30	2.80	2.30	1.79	1.41	98.04

Luego, estos datos se plotean en papel Gumbel semilogarítmico teniendo en el eje de las abscisas la frecuencia; y en el eje de las ordenadas, las intensidades en milímetros por minuto; conformándose así las curvas I-D-F.

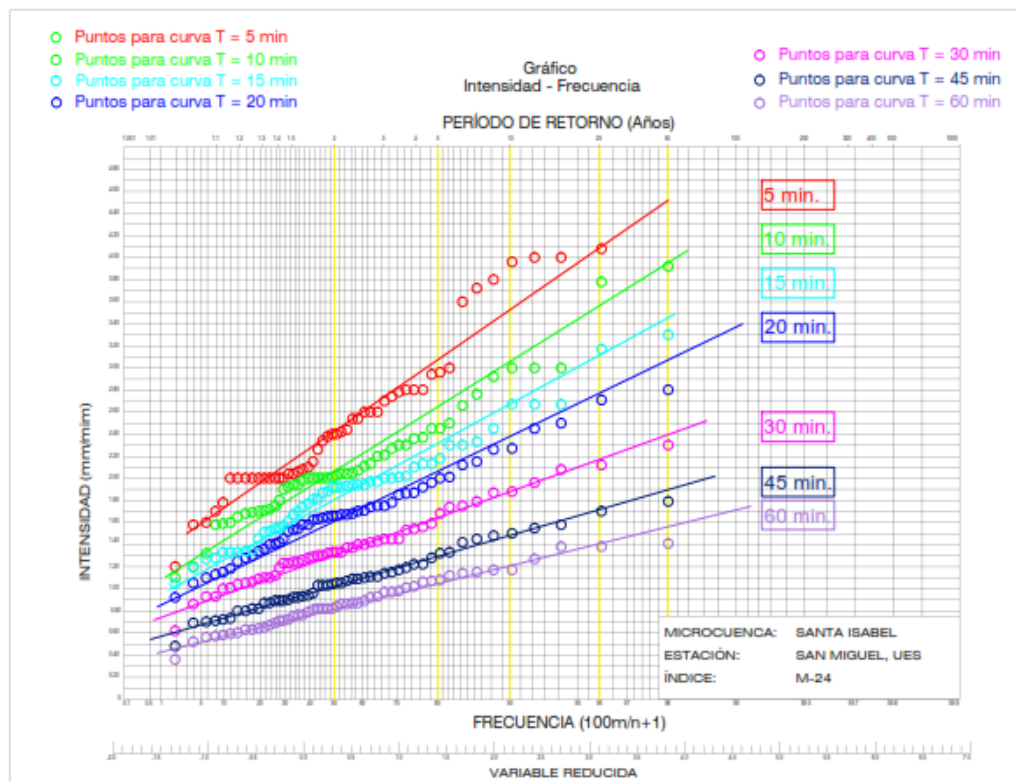


Figura 3.35 Curva IDF de estación San Miguel.

A continuación se presentan los valores de las intensidades máximas (en mm/min. Y en mm/h) para distintas duraciones y un período de retorno de 10 años, obtenidas del gráfico de las curvas I-D-F.

Tabla 3.18 Valores de intensidades máximas en mm/min.

Período de retorno (años)	Tiempo (min.)						
	5	10	15	20	30	45	60
<b>10</b>	3.53	3.06	2.68	2.38	1.88	1.48	1.21

Tabla 3.19 Valores de intensidades máximas en mm/h.

Período de retorno (años)	Tiempo (h)						
	1/12	1/6	1/4	1/3	1/2	3/4	1
<b>10</b>	211.80	183.60	160.80	142.80	112.80	88.80	72.6

Estos datos se utilizaron para el cálculo de caudales máximos en el método de hidrograma unitario triangular.

### 3.6.2.6. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MICROCUENCA SANTA ISABEL

#### ✓ Climatología.

La zona de estudio al igual que todo el sector del municipio de San Miguel pertenece al grupo “A” tropical lluvioso y al subgrupo w, en concreto la zona se denomina Sabana tropical calurosa<sup>9</sup>, de acuerdo con la clasificación de Koopen. Esta se caracteriza por presentar unas condiciones térmicas más o menos iguales durante todo el año, con variaciones diurnas más importantes que las anuales.

Las precipitaciones presentan grandes oscilaciones, estableciéndose dos estaciones, en función de ellas, la estación seca, de noviembre a abril y la estación lluviosa de mayo a octubre, en la cual se concentra la precipitación y dos periodos de transición entre ellas.

---

<sup>9</sup>Geólogos del Mundo, caracterización de amenazas geológicas en La ladera sur - occidental del volcán Chaparrastique, El Salvador, 2004, Pág. 18

### ✓ Geología

Geológicamente hablando, en la microcuenca Santa Isabel Predominan las rocas ígneas volcánicas como: lavas andesítica, basaltos, tobas, cenizas, escorias y materiales piroclásticos; conformando estructuras geológicas, como se observa en el Mapa Geológico de San Miguel<sup>10</sup>.

En el área de estudio se identifica una formación geológica: la Formación San Salvador, que presenta depósitos del Holoceno. Dicha formación está compuesta por una secuencia de efusivas básicas.

La geología del área de estudio, al igual que la del resto del país, está caracterizada por la presencia exclusiva de rocas volcánicas, en este caso, procedente de erupciones del volcán Chaparrastique.

### ✓ Vegetación

La superficie de la microcuenca 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, café, arboles maderables, y pastos naturales.

En general puede decirse que la cuenca posee matorrales y pastos naturales en la parte alta y una zona boscosa en la parte media y baja.

### ✓ Uso de suelos

El uso del suelo en la microcuenca es predominantemente para fines agrícolas; al sur el cantón se encuentra cultivado de café; mientras que en su parte media se encuentra cultivo de pastos y granos básicos; el área urbana está ubicada en la parte norte de la microcuenca.

---

<sup>10</sup> Fuente: Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales

### 3.6.3. EVALUACIÓN DE LOS PUNTOS DE INTERÉS

#### 3.6.3.1. PUNTO DE INTERÉS 1

##### 3.6.3.1.1. PARÁMETROS FÍSICOS DE LA MICROCUENCA

- ✓ Delimitación de la microcuenca

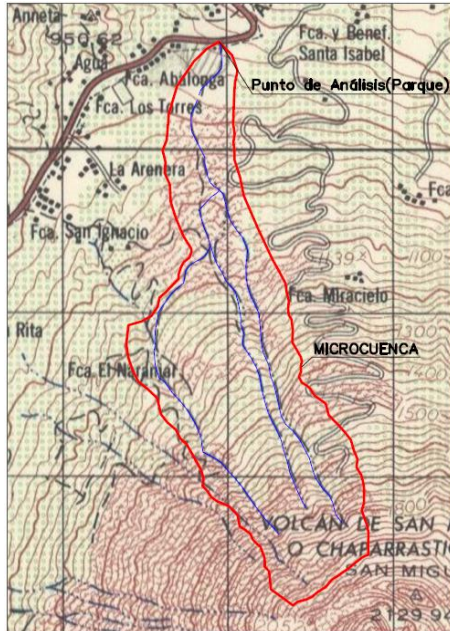


Figura 3.36 Delimitación de la microcuenca para punto de interés uno.

- ✓ Determinación del Drenaje de la microcuenca

En éste se aprecia que la quebrada principal parte de un punto elevado, en este caso la parte alta del volcán Chaparrastique, siendo básicamente un afluente de invierno. Presenta las siguientes condiciones:

- Litología con baja permeabilidad
  - Baja cobertura vegetal
  - Pendientes fuertes y laderas altas
  - Caudales altos
- ✓ Área de la cuenca

$$A_{\text{cuenca}} = 2253859.605 \text{ m}^2$$

$$A_{cuenca} = 2.2538 \text{ km}^2$$

- ✓ Longitud perimetral de la cuenca

$$L_p = 8189.704 \text{ m}$$

$$L_p = 2.2538 \text{ km}$$

- ✓ Longitud del cauce más largo

$$L = 3430.59 \text{ m}$$

$$L = 3.4305 \text{ km}$$

- ✓ Longitud de los cursos de agua o longitud total de los cauces

$$L_c = 8649.293 \text{ m}$$

$$L_c = 8.6492 \text{ km}$$

- ✓ Densidad de drenaje o longitud de canales por unidad de área

$$D_d = \frac{L_c}{A_{cuenca}} = \frac{8.649293 \text{ km}}{2.2538 \text{ km}^2}$$

$$D_d = 3.8375 \text{ km}$$

- ✓ Desnivel de la cuenca

$$\text{Desnivel} = H = \text{Elevación alta} - \text{Elevación baja}$$

$$H = 1797.803 \text{ m.s.n.m.} - 825.744 \text{ m.s.n.m.}$$

$$H = 972.059 \text{ m}$$

- ✓ Longitud de planta de la cuenca

$$L_{planta} = 3240.622 \text{ m}$$

$$L_{planta} = 3.2406 \text{ km}$$

- ✓ Pendiente media de la cuenca

La pendiente media es igual al desnivel entre los extremos de la cuenca dividido entre su longitud en planta.

$$Pendiente\ media = \frac{H}{L_{planta}} \times 100\%$$

$$Pendiente\ media = \frac{972.059\ m}{3240.622\ m} \times 100\%$$

Pendiente media = 30%

### **3.6.3.1.2. CARACTERÍSTICAS DE FORMA DE LA MICROCUENCA**

- ✓ Factor de forma (Gravelius)

Este factor relaciona la forma de la cuenca con la de un cuadrado, correspondiendo a un  $K_f=1$  para regiones con esta forma, que es imaginaria.

Un valor de  $K_f$  superior a la unidad nos proporciona el grado de achatamiento de la cuenca. En consecuencia, con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas.

Una cuenca con un factor de forma bajo esta menos sujeta a crecidas que una de la misma área y mayor factor de forma.

Según el rango del valor de factor de forma están clasificadas las cuencas. En la Tabla 3.20 se aprecian las distintas clases de forma.

Tabla 3.20 Clasificación de cuencas según el coeficiente de forma.

Clases de Valores de forma	
Rangos de $K_f$	Clases de forma
0.01-0.18	Muy poco achatada
0.18-0.36	Ligeramente achatada
0.36-0.54	Moderadamente achatada

El factor de forma viene dado por:

$$K_f = \frac{A_{cuenca}}{L^2}$$

$$K_f = \frac{2.2538 \text{ km}^2}{(3.43059 \text{ km})^2}$$

$$K_f = 0.1915$$

Según el resultado de factor de forma, se puede determinar que la cuenca es ligeramente achatada.

✓ Coeficiente de compacidad

El coeficiente de compacidad es indicador de la regularidad geométrica de la forma de la cuenca.

El resultado será igual o mayor a la unidad, de tal forma que cuanto más cercano a ella se encuentre, más se aproxima su forma a la de un círculo, en cuyo caso la cuenca tendrá mayores posibilidades de producir crecientes con mayores caudales. Por otro lado, mientras más se aleja  $K_c$  del valor de la unidad significa un mayor alargamiento en la forma de la cuenca.

El  $K_c$  se determina de la siguiente manera:

$$K_c = 0.282 \times \frac{L_p}{\sqrt{A_{cuenca}}}$$

$$K_c = 0.282 \times \frac{8.1897 \text{ km}}{\sqrt{2.2539 \text{ km}^2}}$$

$$K_c = 1.5383$$

### 3.6.3.1.3. CÁLCULO DE AVENIDAS MÁXIMAS

✓ Tiempo de concentración

Para determinar el tiempo de concentración, se ha calculado de dos fórmulas diferentes y se ha tomado el promedio de dichos resultados.

El tiempo de concentración se es afectado por las obras que existen en el lugar debido a que estas obstaculizan el paso del agua por lo que aumentan el tiempo de concentración. Este aumento será de 3.5 minutos.

a) Fórmula de Pickering

$$T_{c1} = \left( \frac{0.871 \times L^3}{H} \right)^{0.385}$$

$$T_{c1} = \left( \frac{0.871 \times (3.4306 \text{ km})^3}{972.059 \text{ m}} \right)^{0.385}$$

$$T_{c1} = 0.2786 \text{ h}$$

$$T_{c1} = 16.72 \text{ min.}$$

b) Fórmula de Giandotti

$$T_{c2} = \frac{\sqrt{A_c} + 1.5 L}{0.85 \sqrt{H_m}}$$

Donde:

$$H_m = \frac{H}{2}$$



$$H_m = \frac{972.059 \text{ m}}{2} = 1311.77 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$T_{c2} = \frac{\sqrt{2.2539 \text{ km}^2} + 1.5 (3.4306 \text{ km})}{0.85 \sqrt{1311.77 \text{ m}}}$$

$$T_{c2} = 0.2159 \text{ h}$$

$$T_{c2} = 12.96 \text{ min.}$$

Promedio de los tiempos de concentración:

$$T_{cprom} = \frac{T_{c1} + T_{c2}}{2} = \frac{16.72 \text{ min.} + 12.96 \text{ min.}}{2}$$

$$T_{cprom} = 14.84 \text{ min.}$$

El tiempo de concentración afectado por las obras propuestas:

$$T_c = T_{cprom} + 3.5 \text{ min}$$

$$T_c = 18.34 \text{ min}$$

$$T_c = 0.31 \text{ h}$$

✓ Cálculo del coeficiente ponderado de escorrentía

A continuación se calculará el coeficiente ponderado de escorrentía para un período de diseño de 10 años:

$$C_p = \frac{(C_c \times A_c) + (C_p \times A_p) + (C_b \times A_b)}{A_{cuenca}}$$

Donde:

$C_p$  = Coeficiente ponderado

$C_c$ = Coeficiente de escorrentía para cultivos  
 $C_p$ = Coeficiente de escorrentía para pastizales  
 $C_b$ = Coeficiente de escorrentía para bosque  
 $A_c$ = Área de cultivos  
 $A_p$ = Área de pastizales  
 $A_b$ = Área de bosques  
 $A_{cuenca}$ = Área total de la microcuenca

Entonces:

$$C_p = \frac{(0.44 \times 257577.064 \text{ m}^2) + (0.42 \times 338352.427 \text{ m}^2) + (0.41 \times 165793.114 \text{ m}^2)}{2253859.605 \text{ m}^2}$$

$$C_p = 0.41$$

#### 3.6.3.1.4. MÉTODO DE HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR EQUIVALENTE

##### ✓ Análisis de lluvia

La información acerca de la variación de la lluvia fue analizada por el método probabilístico de Gumbel, de este análisis se preparó la curva Intensidad-Duración y Frecuencia.

Los datos obtenidos de las curvas antes mencionadas serán relacionados con el método de hidrograma unitario triangular para calcular los caudales pico o caudales máximos para nuestro estudio.

##### ✓ Tiempo de concentración

$$T_c = 18.34 \text{ min.} = 0.31 \text{ h}$$

- ✓ Duración de la tormenta

Se utilizarán lluvias de distintas duraciones, tomadas en base al tiempo de concentración y al análisis de lluvia.

Las duraciones a utilizar son de 5, 10, 15, 20, 30, 45 y 60 minutos.

- ✓ Período de retorno

El cálculo se hará para un período de retorno de 10 años.

- ✓ Coeficiente de escorrentía

Los coeficientes de escorrentía utilizados serán los coeficientes ponderados de escorrentía calculados anteriormente.

Período de retorno (años)	Coeficiente de escorrentía
10	0.41

- ✓ Intensidades de lluvia

Las intensidades de lluvia han sido tomadas para diferentes duraciones de tormenta y períodos de retorno, con el objetivo de identificar la de mayor caudal pico. Las intensidades han sido obtenidas de las curvas I-D-F.

Tabla 3.21 Intensidades de lluvia en mm/h para período de retorno de 10 años en punto de interés uno.

Período de retorno (años)	Tiempo (h.)						
	1/12	1/6	1/4	1/3	1/2	3/4	1
<b>10</b>	211.80	183.60	160.80	142.80	112.80	88.80	72.6

- ✓ Cálculo de caudales máximos

Para el cálculo de caudales máximos, se necesitan conocer otros datos como la lluvia efectiva, lámina de lluvia, volumen de escorrentía, tiempo pico y tiempo base.

A continuación se realizarán los cálculos de cada uno de los ítems necesarios para calcular el caudal máximo para un período de retorno de 10 años y duración de lluvia de 10 min (1/6 h), luego se mostrará una tabla resumen para las demás duraciones de lluvia.

a) Lluvia efectiva (Lle)

Debido a que los datos de la intensidad de lluvia son puntuales, el cálculo de la lluvia efectiva será afectado por el factor de 0.90 de tal manera que la lluvia sea distribuida uniformemente por toda la cuenca.

$$Lle = D * i * C * 0.90$$

Donde:

D= Duración de la tormenta (h)

i= Intensidad de lluvia (mm/h)

C= Coeficiente de escorrentía.

Lle= Lluvia efectiva (mm)

Por lo que:

$$Lle = 0.1667 h * 183.60 mm/h * 0.41 * 0.90$$

$$Lle = 11.43 mm$$

b) Lámina de lluvia (L)

$$L = i * D$$

Donde:

D= Duración de la tormenta (h)

i= Intensidad de lluvia (mm/h)

L= Lámina de lluvia (mm)

Por lo que:

$$L = 0.1667h * 183.60 mm/h$$

$$L = 30.60 mm$$

c) Volumen de escorrentía (V)

$$V = A_{cuenca} * Lle$$

Donde:

Acuenca= Área de la cuenca

Lle= Lluvia efectiva (m)

V= Volumen de escorrentía (m<sup>3</sup>)

Por lo tanto:

$$V = 2253859.605 \text{ m}^2 * 0.01143 \text{ m}$$

$$V = 25755.22 \text{ m}^3$$

d) Tiempo de retraso (tr)

$$tr = 0.6 * tc$$

Donde:

tc= Tiempo de concentración (h)

tr= Tiempo de retraso (h)

Por lo que:

$$tr = 0.6 * 0.31 \text{ h}$$

$$tr = 0.18 \text{ h}$$

e) Tiempo pico (tp)

$$tp = \frac{D}{2} + tr$$

Donde:

D= Duración de la tormenta (h)

tr= Tiempo de retraso (h)

tp= Tiempo pico (h)

Por lo tanto:

$$tp = \frac{0.1667 \text{ h}}{2} + 0.18 \text{ h}$$

$$tp = 0.26 \text{ h}$$

f) Tiempo base (tb)

$$tb = 2.67 * tp$$

Donde:

tp= Tiempo pico (h)

tb= Tiempo base (h)

Por lo que:

$$tb = 2.67 * 0.26 h$$

$$tb = 0.71 h$$

g) Caudal pico (qp)

$$qp = \frac{2 * V}{tb}$$

Donde:

V= Volumen de escorrentía (m<sup>3</sup>)

tb= Tiempo base (s)

qp= Caudal pico (m<sup>3</sup>/s)

Por lo que:

$$qp = \frac{2 * 25755.22 m^3}{2563.45 s}$$

$$qp = 20.09 m^3/s$$

En la Tabla 3.22 se presentan los caudales pico para diferentes duraciones de lluvia en la microcuenca Santa Isabel.

De los caudales mostrados en la Tabla 3.22, se toma el caudal más grande para el diseño posterior de obras; siendo este caudal de 23.82 m<sup>3</sup>/s.

Tabla 3.22 Caudales pico para diferentes duraciones de lluvia en punto de interés uno.

Período de retorno				10 años				
Duración D (horas)	Intensidad I (mm/h)	Coefficiente de escorrentía	Lámina de lluvia L (mm)	Lluvia efectiva L <sub>e</sub> (mm)	Volumen de la escorrentía V (m <sup>3</sup> )	Tiempo pico T <sub>p</sub> (horas)	Tiempo base T <sub>b</sub> (horas)	Caudal pico Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /s)
0.08	211.80	0.41	17.65	6.59	14855.55	0.23	0.60	13.74
0.17	183.60	0.41	30.60	11.43	25755.22	0.27	0.71	20.09
0.25	160.80	0.41	40.20	15.01	33835.29	0.31	0.82	22.83
0.33	142.80	0.41	47.60	17.78	40063.68	0.35	0.93	23.82
0.50	112.80	0.41	56.40	21.06	47470.41	0.43	1.16	22.79
0.75	88.80	0.41	66.60	24.87	56055.48	0.56	1.49	20.89
1.00	72.60	0.41	72.60	27.11	61105.53	0.68	1.82	18.61

El caudal será afectado por un porcentaje de sedimentos, ya que estos son arrastrados por el agua que desciende por los cauces de las quebradas. Por lo que el nuevo caudal será:

$$Q_p = q_q * 1.60$$

Donde:

Q<sub>p</sub>= Caudal pico incluyendo sedimentos (m<sup>3</sup>/s)

q<sub>q</sub>= Caudal pico sin incluir sedimentos (m<sup>3</sup>/s)

Por lo tanto:

$$Q_p = 23.815 \text{ m}^3/\text{s} * 1.60$$

$$Q_p = 38.11 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 3.6.3.2. PUNTO DE INTERÉS 2

#### 3.6.3.2.1. PARÁMETROS FÍSICOS DE LA MICROCUENCA

- ✓ Delimitación de la microcuenca

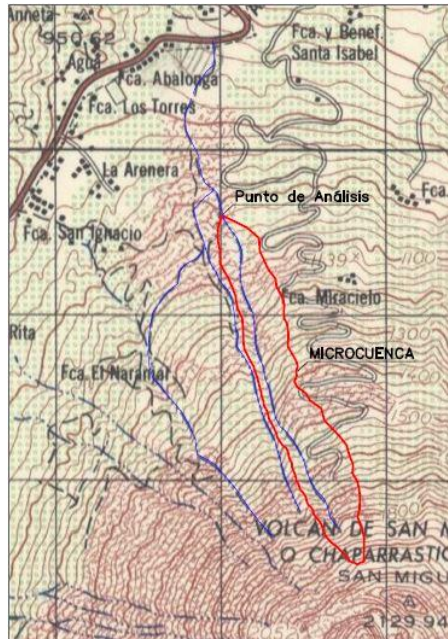


Figura 3.37 Delimitación de microcuenca para punto de interés dos.

Al igual que los cálculos para determinar los caudales máximos del punto de interés uno, se harán los cálculos para determinar caudales máximos en el punto de interés dos; por lo que se obviarán los cálculos y se presentan los resultados a continuación:

- ✓ Área de la cuenca

$$Acuenca = 578893.773 \text{ m}^2$$

- ✓ Longitud perimetral de la cuenca

$$L_p = 4.8576 \text{ km}^2$$

- ✓ Longitud del cauce más largo

$$L = 2.2502 \text{ km}$$



- ✓ Longitud de los cursos de agua o longitud total de los cauces

$$L_c = 2.250185 \text{ km}$$

- ✓ Densidad de drenaje o longitud de canales por unidad de área

$$D_d = 3.8870 \text{ km}$$

- ✓ Desnivel de la cuenca

$$H = 772.799 \text{ m}$$

- ✓ Longitud de planta de la cuenca

$$L_{\text{planta}} = 2.0812 \text{ km}$$

- ✓ Pendiente media de la cuenca

$$\text{Pendiente media} = 30\%$$

### **3.6.3.2.2. CARACTERÍSTICAS DE FORMA DE LA MICROCUENCA**

- ✓ Factor de forma (Gravelius)

$$K_f = 0.1143$$

- ✓ Coeficiente de compacidad

$$K_c = 1.80$$

### 3.6.3.2.3. CÁLULO DE AVENIDAS MÁXIMAS

- ✓ Tiempo de concentración

Para determinar el tiempo de concentración, se ha calculado de dos fórmulas diferentes y se ha tomado el promedio de dichos resultados.

- c) Fórmula de Pickering

$$T_{c1} = 11.22 \text{ min.}$$

- d) Fórmula de Giandotti

$$T_{c2} = 7.77 \text{ min.}$$

Promedio de los tiempos de concentración:

$$T_{cprom} = 0.1583 \text{ h}$$

- ✓ Cálculo del coeficiente ponderado de esorrentía

$$C_p = 0.41$$

### 3.6.3.2.4. MÉTODO DE HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR

- ✓ Análisis de lluvia

La información acerca de la variación de la lluvia fue analizada por el método probabilístico de Gumbel, de este análisis se preparó la curva Intensidad-Duración y Frecuencia.

Los datos obtenidos de las curvas antes mencionadas serán relacionados con el método de hidrograma unitario triangular para calcular los caudales pico o caudales máximos para nuestro estudio.

- ✓ Tiempo de concentración

$$T_c = 9.50 \text{ min.} = 0.1583\text{h}$$

- ✓ Duración de la tormenta

Las duraciones a analizar son de 5, 10, 15, 20, 30, 45 y 60 minutos.

- ✓ Período de retorno

El cálculo se hará para un período de retorno de 10 años.

- ✓ Coeficiente de escorrentía

Los coeficientes de escorrentía utilizados serán los coeficientes ponderados de escorrentía calculados anteriormente.

Período de retorno (años)	Coefficiente de escorrentía
10	0.41

- ✓ Intensidades de lluvia

Las intensidades de lluvia han sido tomadas para diferentes duraciones de tormenta y períodos de retorno, con el objetivo de identificar la de mayor caudal pico. Las intensidades han sido obtenidas de las curvas I-D-F.

*Tabla 3.23 Intensidades de lluvia en mm/h para período de retorno de 10 años en punto de interés dos.*

Período de retorno (años)	Tiempo (h.)						
	1/12	1/6	1/4	1/3	1/2	3/4	1
10	211.80	183.60	160.80	142.80	112.80	88.80	72.6

✓ Cálculo de caudales máximos

Para el cálculo de caudales máximos, es necesario conocer otros datos como la lluvia efectiva, lámina de lluvia, volumen de esorrentía, tiempo pico y tiempo base.

A continuación se realizarán los cálculos de cada uno de los ítems necesarios para calcular el caudal máximo para un período de retorno de 10 años y duración de lluvia de 10 min (1/6 h), luego se mostrará una tabla resumen para las demás duraciones de lluvia.

a) Lluvia efectiva (Lle)

$$Lle = 11.37 \text{ mm}$$

b) Lámina de lluvia (L)

$$L = 30.60 \text{ mm}$$

c) Volumen de esorrentía (V)

$$V = 6579.70 \text{ m}^3$$

d) Tiempo de retraso (tr)

$$tr = 0.0950 \text{ h}$$

e) Tiempo pico (tp)

$$tp = 0.18 \text{ h}$$

f) Tiempo base (tb)

$$tb = 0.48 \text{ h}$$

g) Caudal pico (qp)

$$qp = 7.68 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tabla 3.24 Caudales pico para diferentes duraciones de lluvia en punto de interés dos.

Período de retorno				10 años				
Duración D (horas)	Intensidad I (mm/h)	Coefficiente de escorrentía	Lámina de lluvia L (mm)	Lluvia efectiva Lle (mm)	Volumen de la escorrentía V (m <sup>3</sup> )	Tiempo pico Tp (horas)	Tiempo base Tb (horas)	Caudal pico Qp (m <sup>3</sup> /s)
0.08	211.80	0.41	17.65	6.56	3795.15	0.14	0.36	5.78
0.17	183.60	0.41	30.60	11.37	6579.70	0.18	0.48	7.68
0.25	160.80	0.41	40.20	14.93	8643.91	0.22	0.59	8.18
0.33	142.80	0.41	47.60	17.68	10235.08	0.26	0.70	8.14
0.50	112.80	0.41	56.40	20.95	12127.28	0.34	0.92	7.32
0.75	88.80	0.41	66.60	24.74	14320.51	0.47	1.25	6.34
1.00	72.60	0.41	72.60	26.97	15610.65	0.59	1.59	5.46

De los caudales mostrados en la Tabla 3.24, se toma el caudal más grande para el diseño posterior de obras; siendo este caudal de 8.18 m<sup>3</sup>/s.

El caudal será afectado por un porcentaje de sedimentos, ya que estos son arrastrados por el agua que desciende por los cauces de las quebradas. Por lo que el nuevo caudal será:

$$Q_p = 13.08 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 3.6.3.2.5. ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL PUNTO DE INTERÉS

La sección transversal será analizada en el programa Hcanales para la determinación del tirante máximo, área hidráulica, radio hidráulico, velocidad del flujo y demás características hidráulicas.

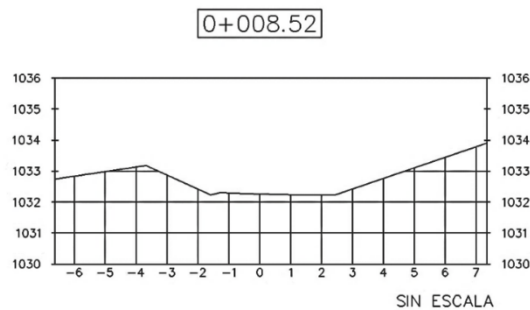


Figura 3.38 Sección transversal de punto de interés 2.

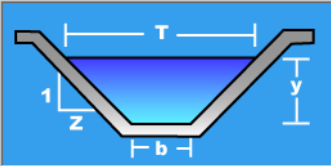
A partir de ciertos datos de entrada (caudal, ancho de solera, rugosidad, etc.) el programa permite conocer ciertas características hidráulicas de la sección.

Lugar:	<input type="text" value="Volcán Chaparrastique"/>	Proyecto:	<input type="text" value="Tesis de graduación"/>
Tramo:	<input type="text" value="Punto crítico 4"/>	Revestimiento:	<input type="text"/>

<b>Datos:</b>			
Caudal (Q):	<input type="text" value="13.08"/>	m <sup>3</sup> /s	
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="4.2"/>	m	
Talud (Z):	<input type="text" value=".5"/>		
Rugosidad (n):	<input type="text" value=".05"/>		
Pendiente (S):	<input type="text" value=".29"/>	m/m	



<b>Resultados:</b>			
Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.4925"/>	m	Perímetro (p): <input type="text" value="5.3012"/> m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="2.1897"/>	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R): <input type="text" value="0.4130"/> m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="4.6925"/>	m	Velocidad (v): <input type="text" value="5.9735"/> m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="2.7920"/>		Energía específica (E): <input type="text" value="2.3112"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>		

**Cuidado velocidad erosiva**

Figura 3.39 Análisis hidráulico de punto de interés 2.

Entre las características más importantes se puede destacar el tirante normal, la altura a la que viaja el flujo en ese punto, el cual es de 0.50 m. También el área hidráulica que tiene 2.20 m<sup>2</sup>. La velocidad en este punto es muy alta, siendo de casi 6 m/s, por lo que se necesitan hacer obras para disminuir la velocidad en este punto.

# **4. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD**

## 4.1. INTRODUCCIÓN

La inestabilidad de laderas es la rotura y desplazamiento de una masa de rocas o tierra hacia el exterior de la misma, con una componente descendente inducida por la acción de la gravedad. También recibe el nombre genérico de deslizamiento.

A diferencia de otros peligros naturales, los deslizamientos tienen lugar de manera dispersa en el territorio, especialmente en zonas montañosas.

La estabilidad de una ladera se determina por la relación existente entre las fuerzas que tienden a producir la inestabilidad y las fuerzas resistentes producidas por las características de la ladera. Esta relación es la que da origen al denominado principio de equilibrio límite.

Tradicionalmente el análisis de estabilidad de taludes se realiza utilizando métodos de equilibrio límite, encontrando entre estos, el método de Fellenius como base de todos los demás métodos que se llevan a cabo por medio de rebanadas o secciones, Método de Bishop y Método Convencional, en los cuales se desprecian las deformaciones elásticas inmediatas que puedan generarse tanto en el suelo de apoyo como en el talud mismo, tomando en cuenta las variaciones en las posiciones de los planos de falla, de las condiciones del nivel freático y de los parámetros de los materiales que lo constituyen.

Todos los métodos de cálculo tradicionales (Janbú, Bishop, Spencer, Morgenstern y Price y Sarma) proporcionan una fiabilidad muy alta, y los valores que se obtienen para el Factor de Seguridad con cada uno de ellos es prácticamente coincidente.

En los siguientes apartados se presenta el análisis de estabilidad y evaluación del factor de seguridad a través del programa GeoSudio (SLOPE/W) 2004 para la ladera ubicada en el sector noroeste del volcán Chaparrastique, el cual de acuerdo al análisis preliminar de amenaza por ocurrencia de lahar resulto ser la zona más crítica, en cuanto a las condiciones de riesgo y vulnerabilidad. El objetivo del análisis a realizar es encontrar el factor de seguridad mínimo que nos permita conocer las condiciones de estabilidad o



inestabilidad de las laderas y será considerado para la toma de decisiones en la etapa de diseño.

## 4.2. CRITERIOS A CONSIDERAR

Se han de considerar los criterios y recomendaciones estipulados en la Norma Técnica de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes, del Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones de El Salvador, donde se establece que los taludes deben cumplir con ciertos factores de seguridad mínimos, los cuales se detallan a continuación.

*Tabla 4.1 Factores mínimos de seguridad considerados en el análisis.*

<b>Condiciones de carga a evaluar</b>	<b>Factor de seguridad mínimo</b>
Gravitacionales	1.4
Gravitacionales, sísmicas e infiltración de agua	1.1

*Fuente: Norma Técnica de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes*

Para la evaluación de las cargas sísmicas se consideró un análisis Pseudo-estático de las potenciales masas de suelo inestables, para lo cual se tomó como coeficiente sísmico igual a 16% de la gravedad, tal cual lo indica el referido Reglamento.

## 4.3. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS CONSIDERADOS

En principio los parámetros geotécnicos considerados en los análisis de estabilidad han sido basados en los resultados obtenidos de los ensayos de campo y de laboratorio realizados a las muestras extraídas de la ladera, los cuales han sido presentados en el capítulo III.

No obstante se tiene el inconveniente que al momento de extracción de las muestras para efectuar los ensayos, estas poseían condiciones de humedad bajas a normales ya que el período estacional era seco (verano). Lo anterior lleva a pensar que dichos materiales

pueden eventualmente estar expuestos a condiciones más severas de humedad, principalmente ante la ocurrencia de precipitaciones de prolongada duración; por lo que es necesario se realice también el análisis de la ladera bajo condiciones de humedad cercanas a la saturación.

Por lo que el análisis de estabilidad de la ladera se realizó bajo dos condiciones. La primera evaluación se realizó considerando que los materiales que conforman la ladera se encuentran en condiciones normales de humedad y que son los que poseen las características geotécnicas determinadas en los ensayos de campo y laboratorio. La segunda evaluación se realizó considerando que los materiales se encuentran en **condiciones de humedad cercanas a la saturación**, por lo que la cohesión del suelo se consideró como cero. Así también se determinó el peso volumétrico del suelo, para lo cual se consideró que dicho suelo tendría al menos un contenido de humedad de 45% para llegar a niveles de saturación.

En la Tabla 4.2 se presenta un resumen de los parámetros geotécnicos considerados en la evaluación del factor de seguridad. Cabe mencionar que en el análisis de estabilidad se consideró cargas gravitacionales y sísmicas.

#### **4.4. CONSIDERACIONES DE ANÁLISIS**

Para analizar la estabilidad de las laderas, se establecieron las siguientes consideraciones:

- ✓ El perfil de la ladera que fue utilizado para el análisis fue elaborado en base al levantamiento topográfico. Con la geometría de la ladera se obtuvieron datos importantes para el análisis como la altura de la ladera, ángulo de inclinación, etc.
- ✓ Los coeficientes sísmicos que se consideraron para el diseño fueron  $K_v=0$  y  $K_h=0.16$ , datos recomendados por la Norma Técnica para Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes.

- ✓ Se efectuó el análisis para la ladera completa y se realizó también el análisis para tramos de la misma ladera pero de forma independiente; ya que por la magnitud de la ladera es imposible que toda falle en un instante determinado.
- ✓ Para el método de análisis se utilizó los parámetros de la ley de la resistencia al esfuerzo cortante obtenidos del ensayo de Corte Directo.
- ✓ Para la determinación de la estabilidad de la ladera se utilizó el programa GeoStudio (SLOPE/W) 2004.

Tabla 4.2 Parámetros geotécnicos utilizados en análisis de estabilidad.

Parámetro	Condición de humedad normal	Condición de humedad cercana a saturación
<b>Material 1</b>		
Humedad promedio (%)	9.59	45
Peso volumétrico (Kg/m <sup>3</sup> , KN/m <sup>3</sup> )	(1.29, 12.65)	(1.91, 18.74)
Cohesión (Kg/cm <sup>2</sup> , KN/m <sup>2</sup> )	3.40	0
Ángulo de fricción interna (grados)	33.9	33.9
<b>Material 2</b>		
Humedad promedio (%)	10.06	45
Peso volumétrico (Kg/m <sup>3</sup> , KN/m <sup>3</sup> )	(1.24, 12.16)	(1.83, 17.99)
Cohesión (Kg/cm <sup>2</sup> , KN/m <sup>2</sup> )	0	0
Ángulo de fricción interna (grados)	38.2	38.2
<b>Material 3</b>		
Humedad promedio (%)	1.95	45
Peso volumétrico (Kg/m <sup>3</sup> , KN/m <sup>3</sup> )	(1.27, 12.46)	(1.88, 18.44)
Cohesión (Kg/cm <sup>2</sup> , KN/m <sup>2</sup> )	0	0
Ángulo de fricción interna (grados)	38.0	38.0
<b>Material 4</b>		
Humedad promedio (%)	3.75	45
Peso volumétrico (Kg/m <sup>3</sup> , KN/m <sup>3</sup> )	(1.42, 13.93)	(2.10, 2.60)
Cohesión (Kg/cm <sup>2</sup> , KN/m <sup>2</sup> )	0.01	0
Ángulo de fricción interna (grados)	36.9	36.9

#### **4.5. MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD PROGRAMA GEOSTUDIO (SLOPE/W) 2004**

A partir de la década del 60, la aparición de herramientas computacionales ha permitido manejar los cálculos iterativos de los distintos métodos de análisis de estabilidad de taludes.

Inicialmente, el método de equilibrio límite fue bien aceptado, dado que podía entregar soluciones por medio de cálculos hechos en forma manual. Sin embargo, las nuevas tecnologías permitieron facilitar los análisis, pudiendo incluso llegar a resultados más precisos al realizar un mayor número de iteraciones o al dividir la masa deslizante en dovelas más pequeñas. Esto conllevó a la aparición de formulaciones matemáticas más rigurosas como las desarrolladas por Morgenstern -Price (1965) y por Spencer (1967).

Dentro de los programas más utilizados se encuentra el GeoStudio (SLOPE/W) 2004, el cual fue diseñado especialmente para el análisis de estabilidad de taludes. Se basa, principalmente, en el uso del método de equilibrio límite y permite modelar suelos homogéneos y estratificados, con superficies geométricas complejas y con presencia de nivel freático.

El software permite analizar la estabilidad del talud bajo diferentes modelos, tales como los propuestos por Fellenius, Bishop, Janbú, Spencer y Morgenstern -Price, entre otros.

El comportamiento de los materiales es modelado bajo el criterio de Hoek y Brown, para el caso de rocas; mientras que, en el caso de suelos, se puede considerar el criterio de Mohr - Coulomb, el de roturas bilineales, el de tipo anisotrópico, de condiciones no drenadas o alguna función específicas que indique la relación entre esfuerzos normales y de corte.

Las condiciones sísmicas son consideradas a través de un análisis pseudo-estático, en el que se introducen las aceleraciones máximas del sismo, mediante los coeficientes verticales y horizontales de este.

De esta manera, una vez efectuados los cálculos, el programa entrega las distintas superficies de rotura analizadas, la superficie de falla más desfavorable, la distribución de las dovelas consideradas dentro de la masa deslizante y los diagramas de cuerpo libre para cada una de las dovelas dentro de la superficie de falla estudiada, entre otros resultados.

#### **4.6. TEORÍA EN LA QUE SE BASA EL PROGRAMA GEO SLOPE**

Diferentes técnicas de solución han sido desarrolladas a través de los años para resolver dilemas de estabilidad de taludes, en las cuales se ha utilizado como base el método las dovelas. La diferencia entre los diversos métodos existentes, consiste principalmente en el tipo de ecuación de equilibrio estático (momentos o fuerzas antes) en la cual estos se basan. Así también, en si las fuerzas cortantes y normales que se genera entre cada una de las dovelas son consideradas o no en el análisis; o bien, relación asumida entre dichas fuerzas según cada método.

**Método de Fellenius**, fue el primer método desarrollado, el mismo satisface únicamente el equilibrio de momentos, e ignora todas las fuerzas internas que se generan entre las dovelas. Adoptando dichas suposiciones, es posible calcular de manera manual el factor de seguridad, lo cual es importante si no se cuenta con un computador.

**Método Simplificado de Bishop**, en este se incluyen las fuerzas normales entre las dovelas, pero se ignoran las fuerzas cortantes. Al igual que el método de Fellenius, este satisface únicamente el equilibrio de momentos. Dicho método requiere de un proceso iterativo para el cálculo del factor de seguridad

**Método Simplificado de Janbú**. Este método es similar al Simplificado de Bishop, en el hecho que se ignoran las fuerzas cortantes entre las dovelas y se toma en consideración las fuerzas normales. A diferencia con el Método de Bishop, este satisface únicamente el equilibrio de fuerzas horizontales del sistema.

Con la llegada de las computadoras ha sido posible el desarrollo de otros métodos, ya que se ha facilitado la utilización de procesos iterativos en los análisis de estabilidad, los cuales son inherentes en los métodos de Equilibrio Limite. Es así que se han desarrollado formulaciones matemáticas rigurosas en las cuales se toma en consideración las fuerzas actuantes entre las dovelas, así como el cumplimiento de todas las ecuaciones de equilibrio estáticas. Entre estos se encuentran los métodos de Morgenstern-Price y Spencer.

Un listado de los métodos disponible en el programa SLOPE W se presenta a continuación.

*Tabla 4.3 Ecuaciones de equilibrio estático que satisface cada método de análisis.*

<b>Método</b>	<b>Equilibrio de momentos</b>	<b>Equilibrio de fuerzas</b>
<b>Ordinario o de Fellenius</b>	si	No
<b>Bishop simplificado</b>	Si	No
<b>Janbú simplificado</b>	No	Si
<b>Spencer</b>	Si	Si
<b>Morgenstern-Price</b>	Si	Si
<b>Corp. of Engineers-1</b>	No	Si
<b>Corp. of Engineers-2</b>	No	Si
<b>Lowe-Karafiath</b>	No	Si
<b>Janbú Generalized</b>	Si (dovela)	Si
<b>Sarma-vertical slices</b>	Si	Si

## 4.7. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES (RESULTADOS OBTENIDOS)

### 4.7.1. LADERA NOROESTE VOLCÁN CHAPARRASTIQUE (TOTAL)

- a. Análisis de Estabilidad bajo condiciones de humedad normales, sin sismo. Factor de Seguridad obtenido: 2.309

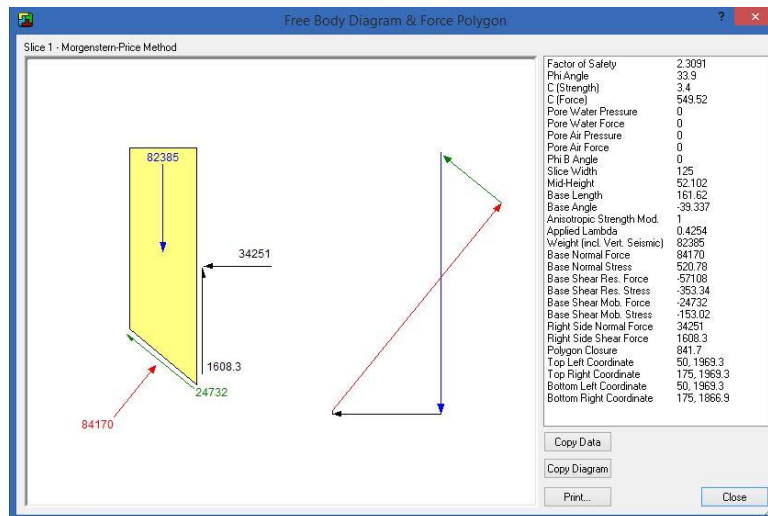
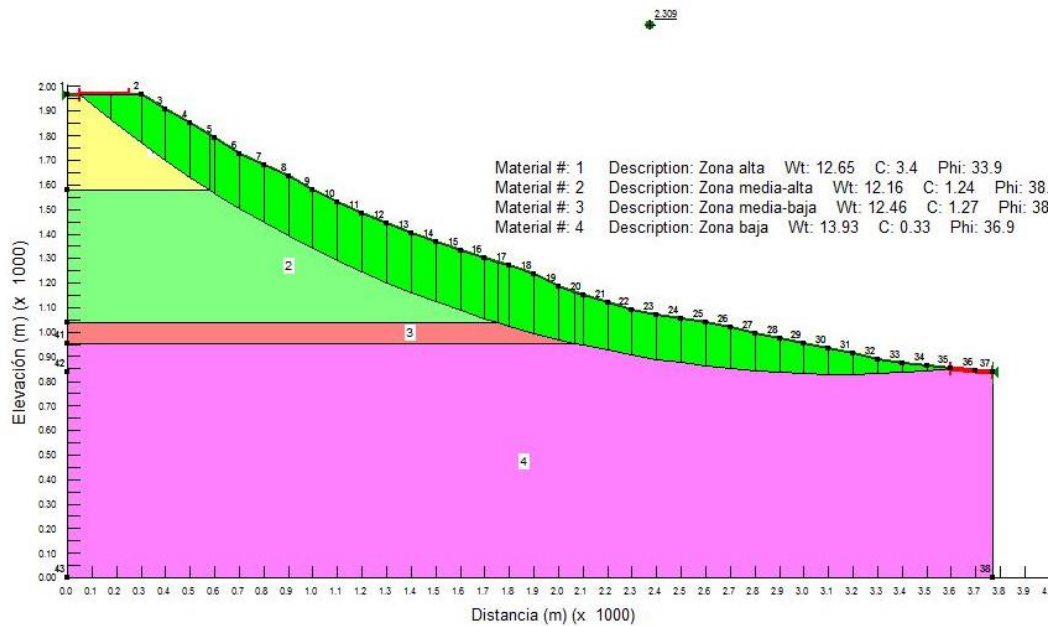


Figura 4.1 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Ladera completa (humedad normal, sin sismo).

b. Análisis de Estabilidad bajo condiciones de humedad normales, con sismo. Factor de Seguridad obtenido: 1.5111

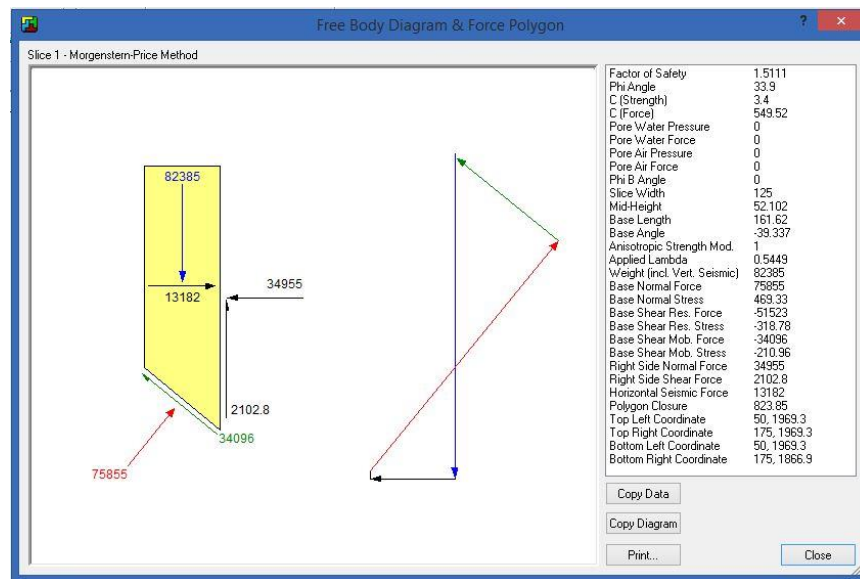
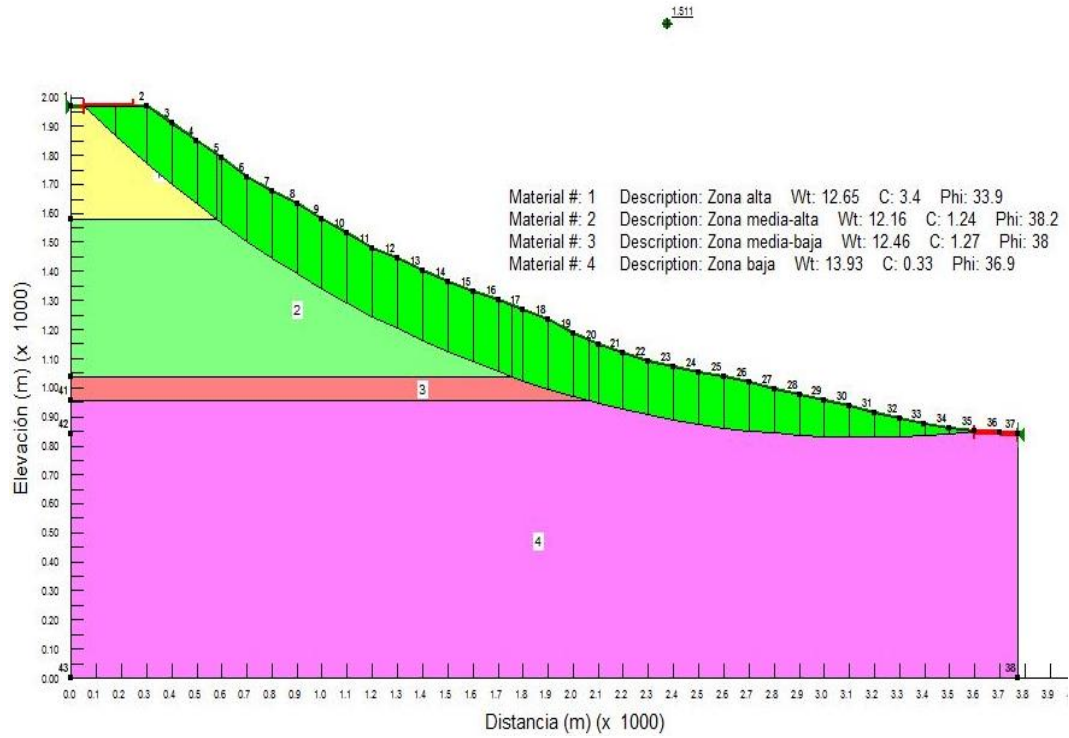


Figura 4.2 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Ladera completa (humedad normal, con sismo).



c. Análisis de Estabilidad bajo condiciones de humedad cercanas a la saturación, sin sismo.

Factor de Seguridad obtenido: 2.3066

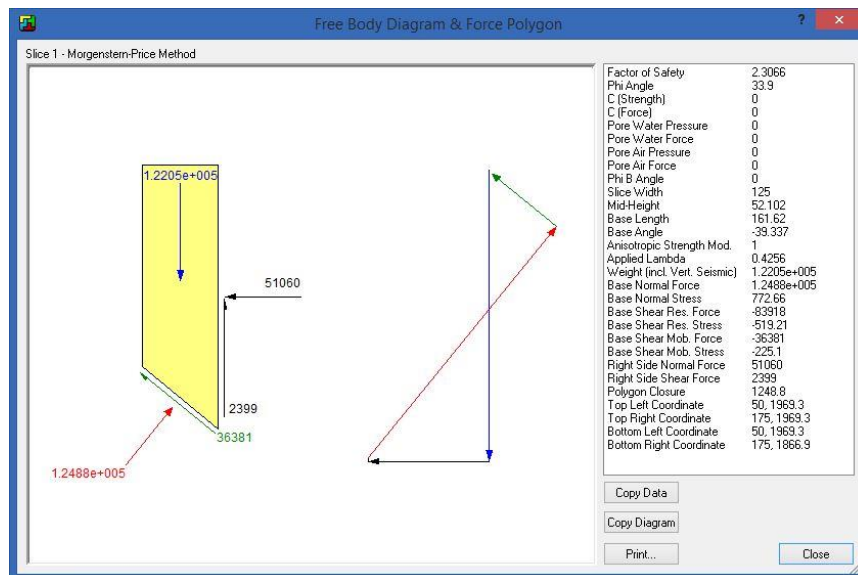
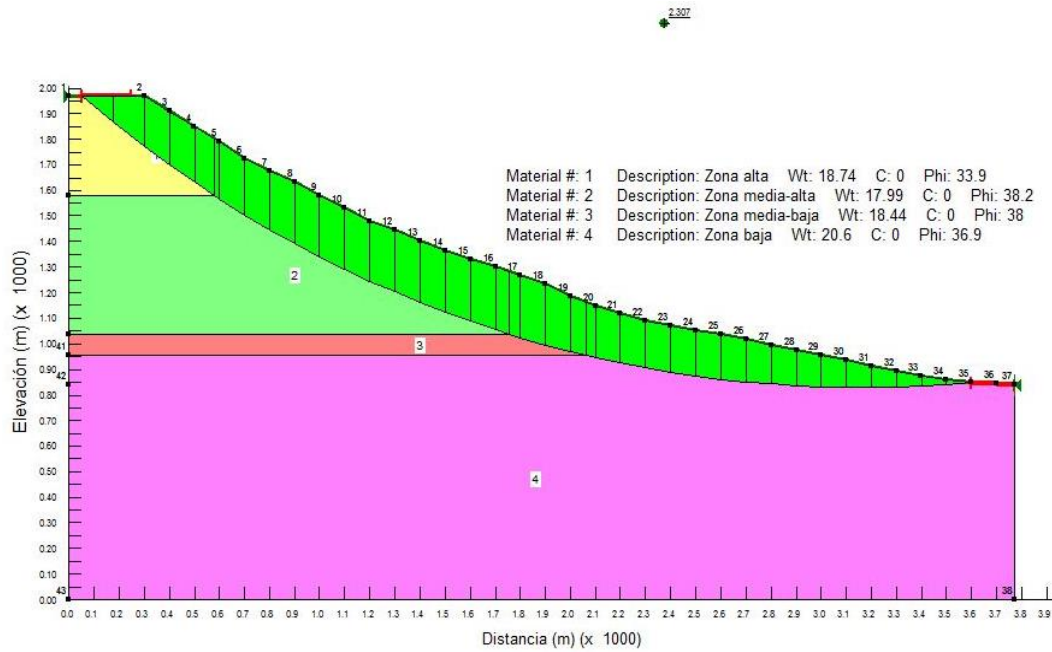


Figura 4.3 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Ladera completa (humedad cercana a la saturación, sin sismo).

d. Análisis de Estabilidad bajo condiciones de humedad cercanas a la saturación, con sismo.

Factor de Seguridad obtenido: 1.510

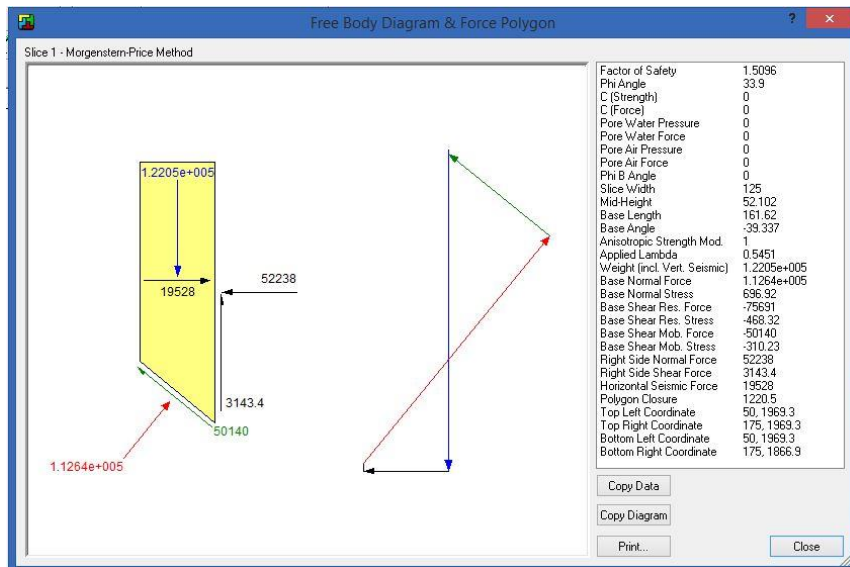
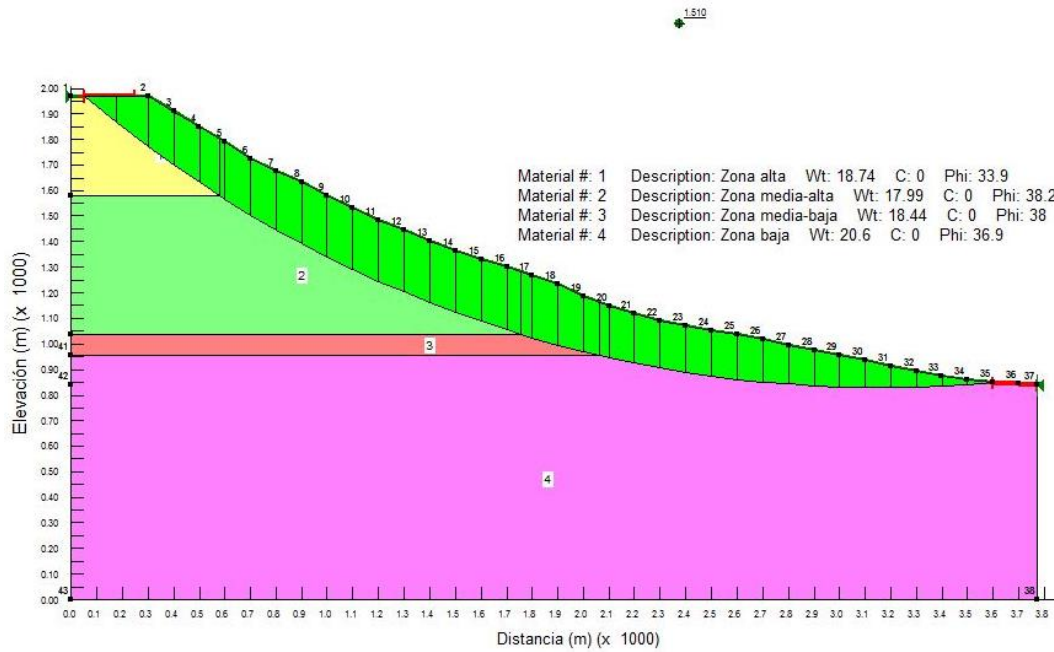


Figura 4.4 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Ladera completa (humedad cercana a la saturación, con sismo).

## 4.7.2. PARTE ALTA DE LADERA NOROESTE VOLCÁN CHAPARRASTIQUE

- a. Análisis de Estabilidad bajo condiciones de humedad normales, sin sismo Factor de Seguridad obtenido: 1.333

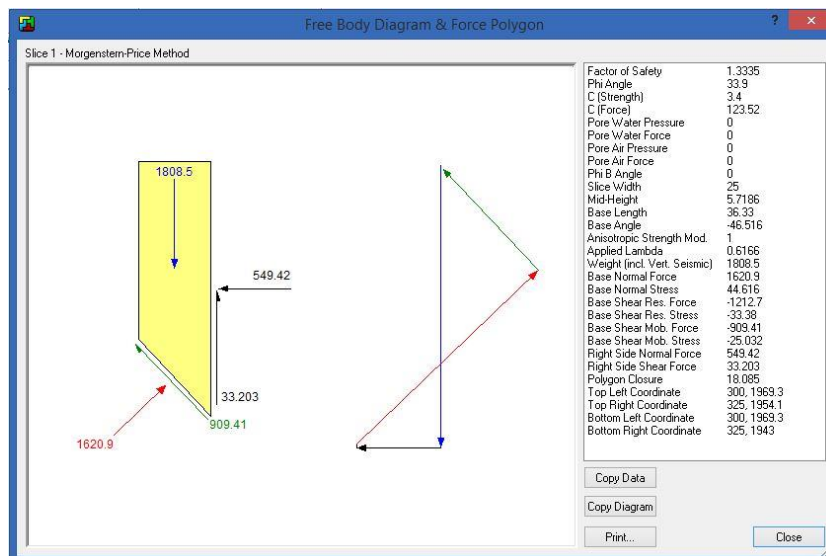
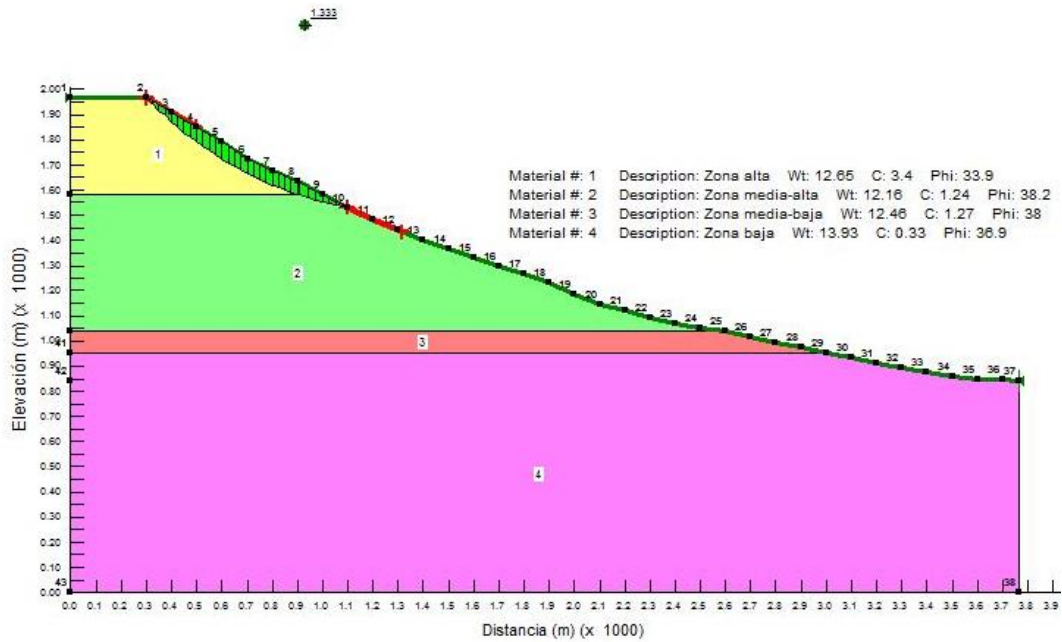


Figura 4.5 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Parte alta de la ladera (humedad normal, sin sismo).

b. Análisis de Estabilidad bajo condiciones de humedad normales, con sismo

Factor de Seguridad obtenido: 1.0327

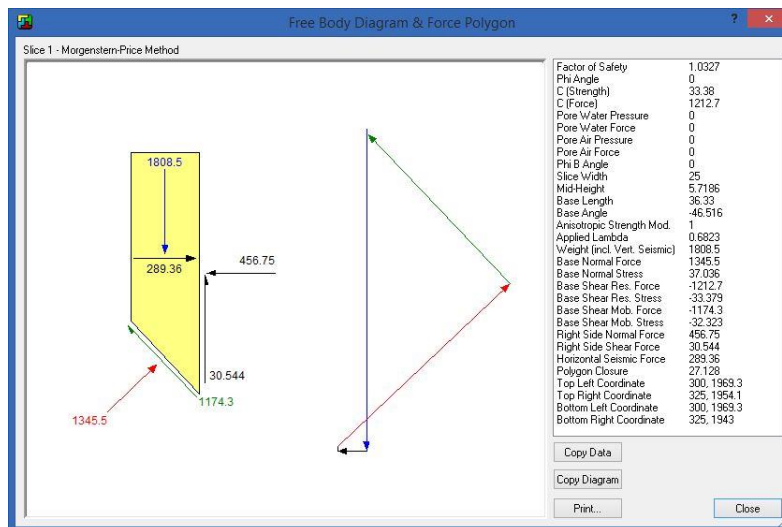
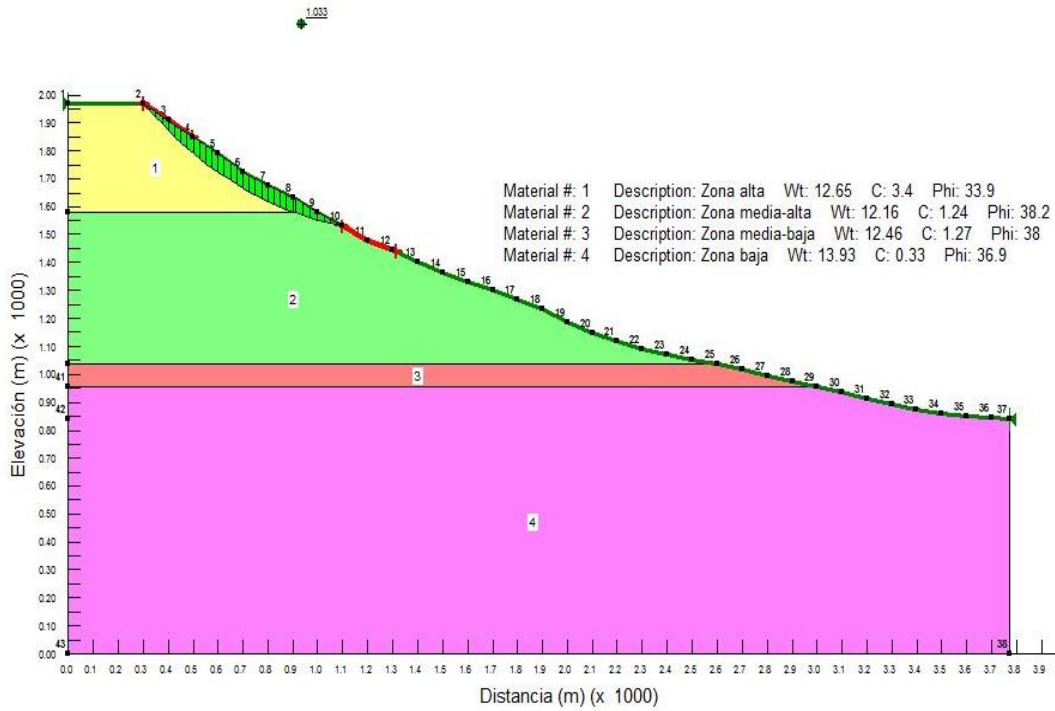


Figura 4.6 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Parte alta de la ladera (humedad normal, con sismo).

c. Análisis de Estabilidad bajo condiciones de humedad cercanas a la saturación, sin sismo.

Factor de Seguridad obtenido: 1.333

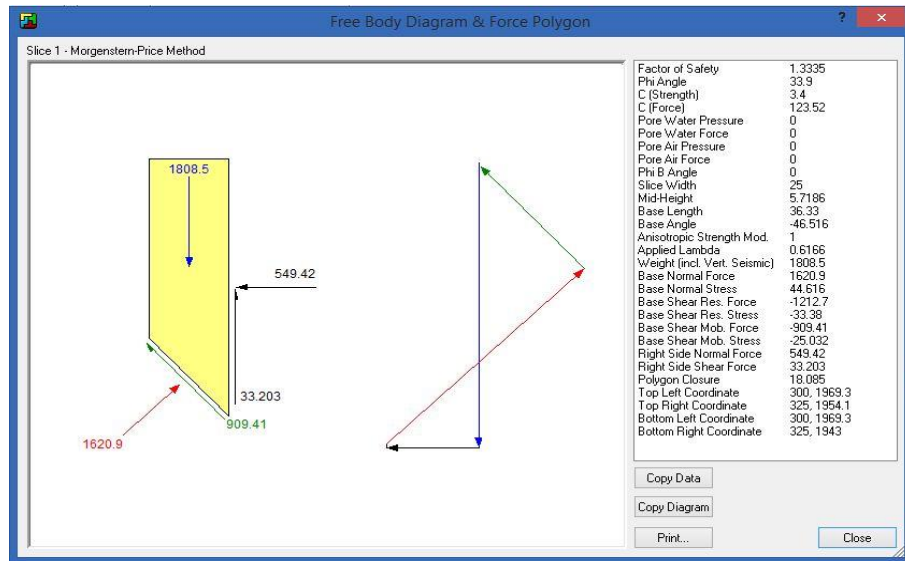
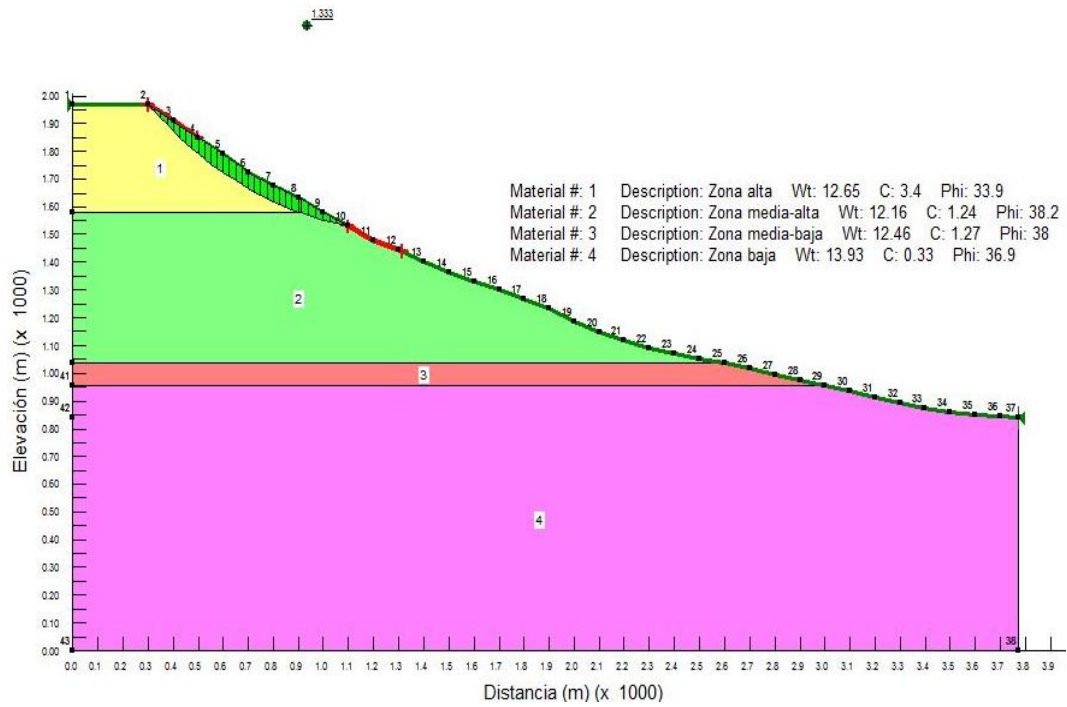


Figura 4.7 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Parte alta de la ladera (humedad cercana a la saturación, sin sismo).

d. Análisis de Estabilidad bajo condiciones de humedad cercanas a la saturación, con sismo.

Factor de Seguridad obtenido: 1.023

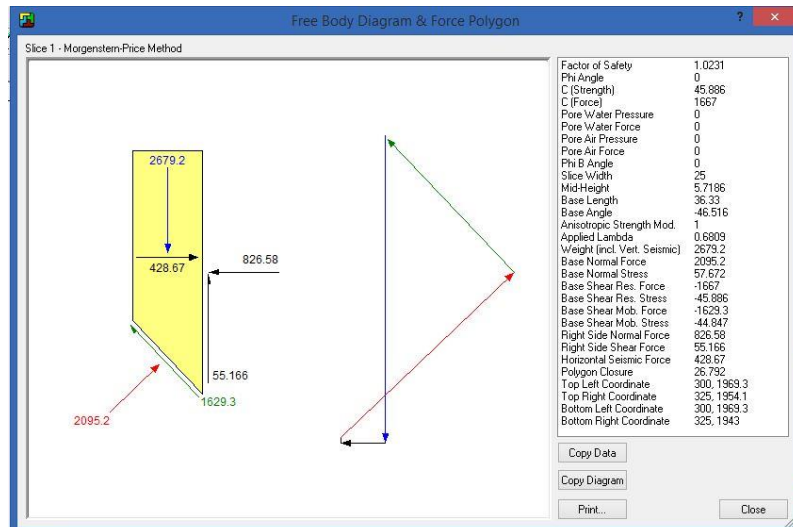
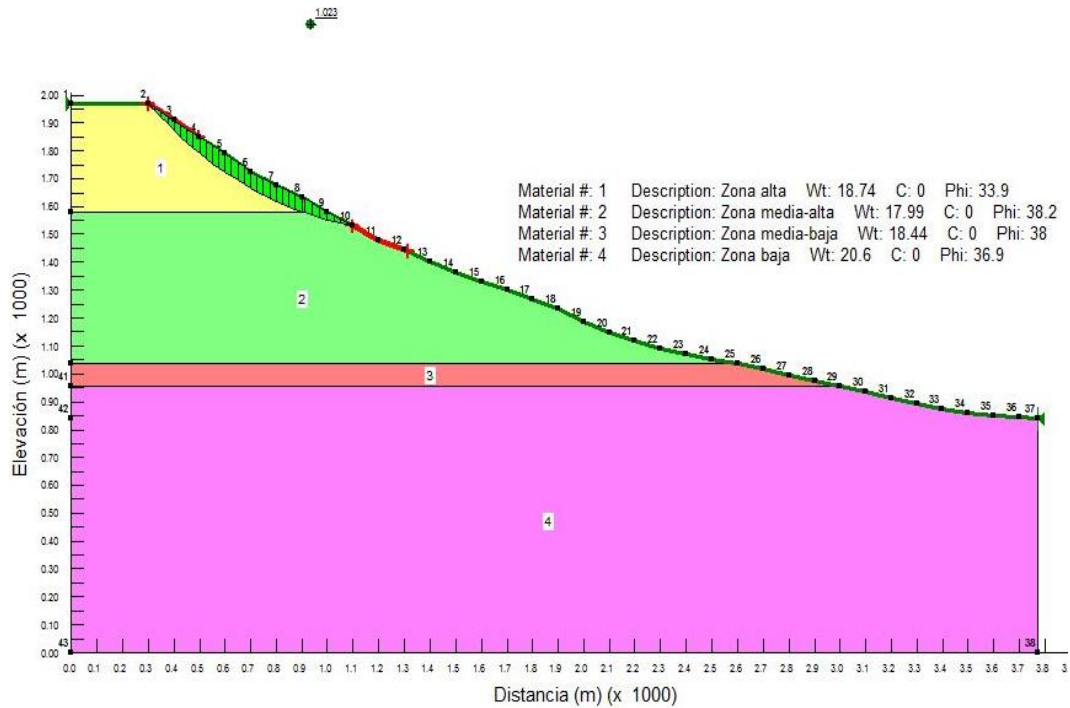


Figura 4.8 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Parte alta de la ladra (humedad cercana a la saturación, con sismo).

### 4.7.3. PARTE MEDIA DE LA LADERA NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE

a. Análisis de Estabilidad bajo condiciones de humedad normales, sin sismo

Factor de Seguridad obtenido: 2.311

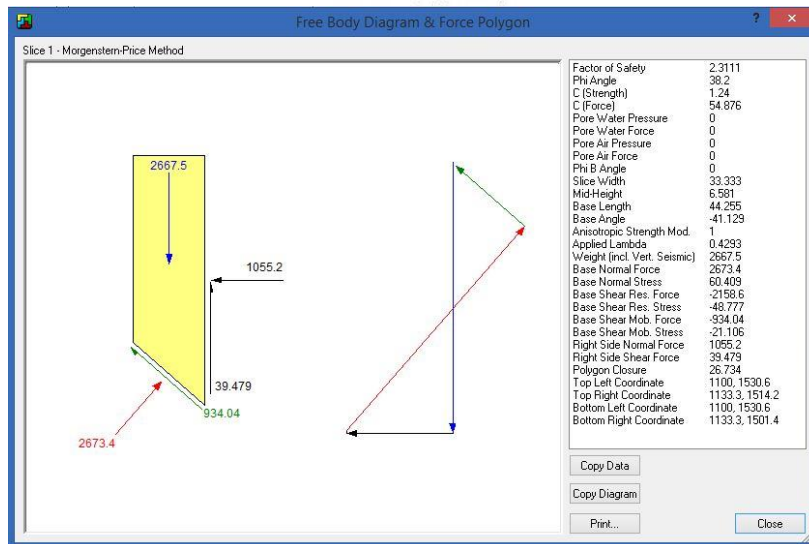
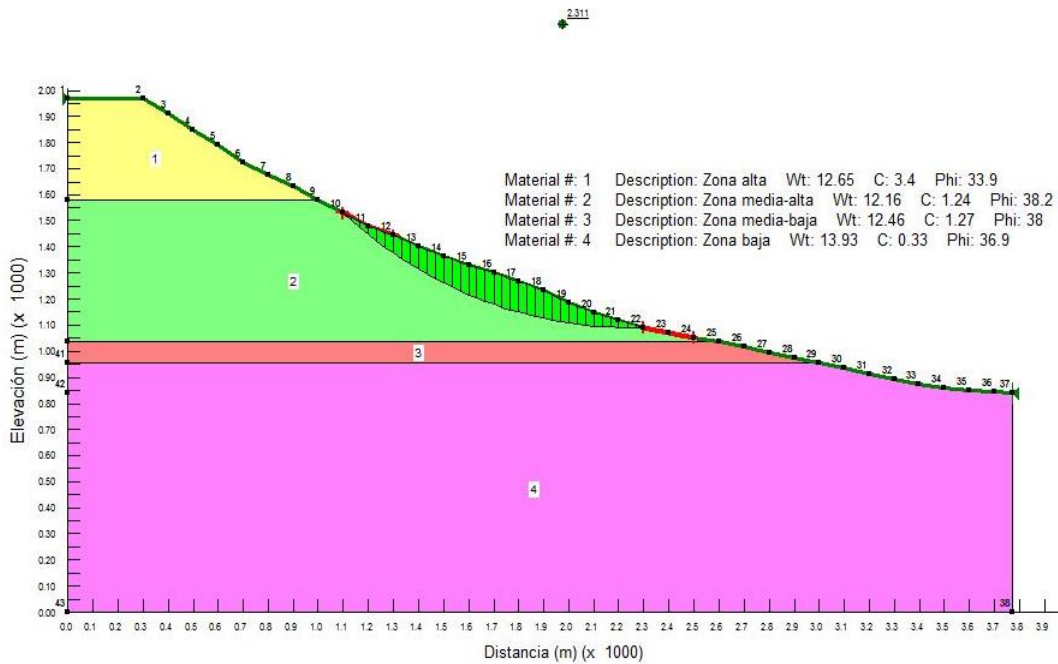


Figura 4.9 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Parte media de ladera (humedad normal, sin sismo).

b. Análisis de Estabilidad bajo condiciones de humedad normales, con sismo

Factor de Seguridad obtenido: 1.6029

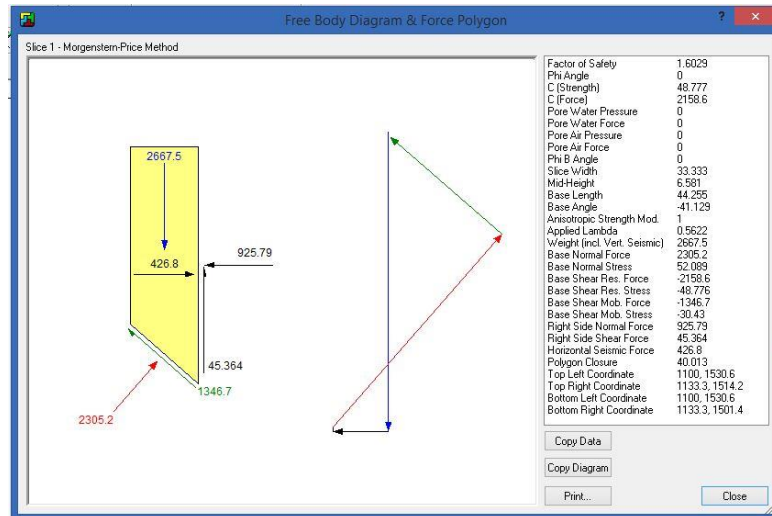
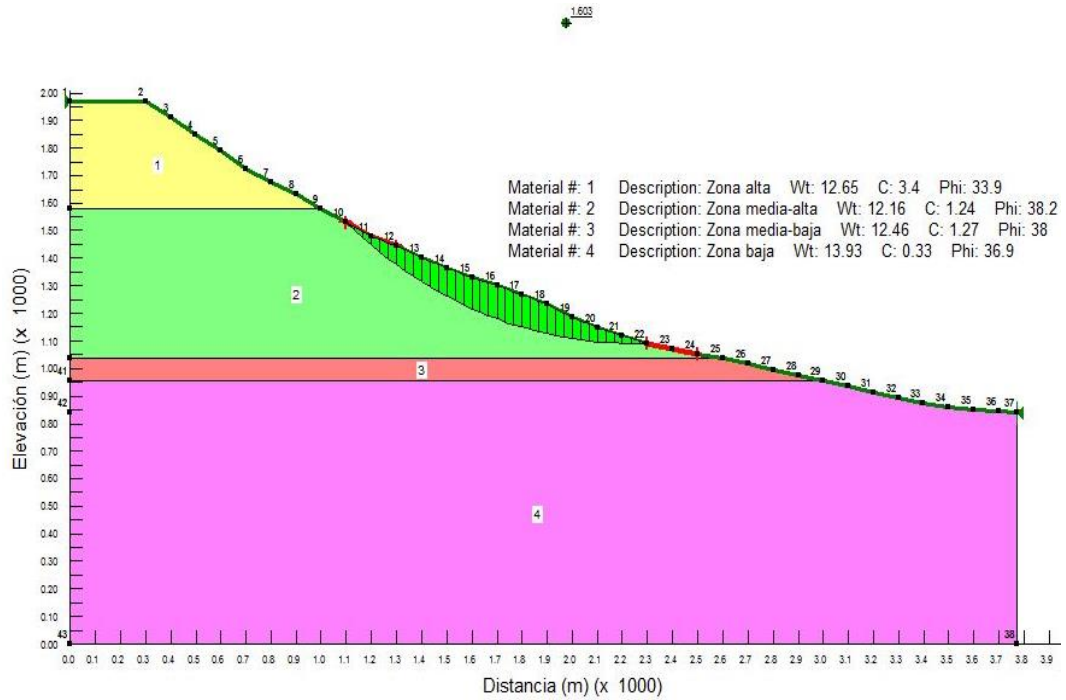


Figura 4.10 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Parte media de ladera (humedad normal, con sismo).



c. Análisis de Estabilidad bajo condiciones de humedad cercanas a la saturación, sin sismo.

Factor de Seguridad obtenido: 2.3066

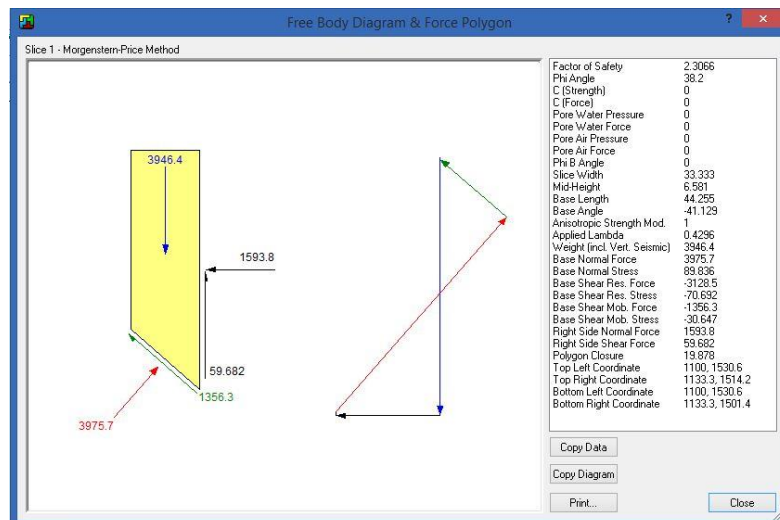
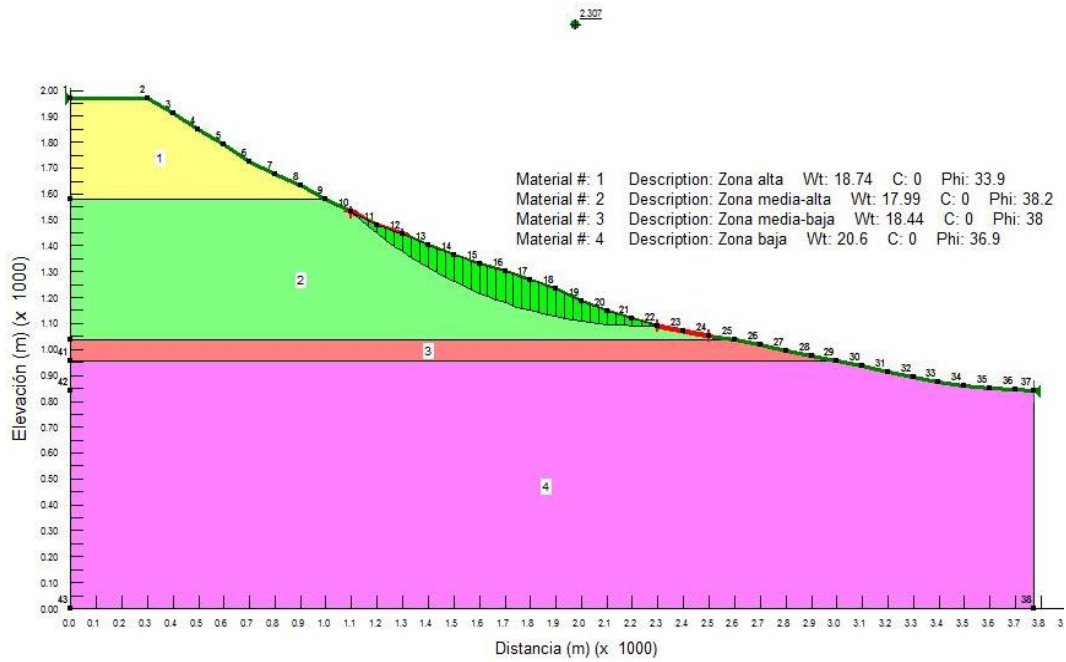


Figura 4.11 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Parte media de ladera (humedad cercana a la saturación, sin sismo).

d. Análisis de Estabilidad bajo condiciones de humedad cercanas a la saturación, con sismo.

Factor de Seguridad obtenido: 1.5203

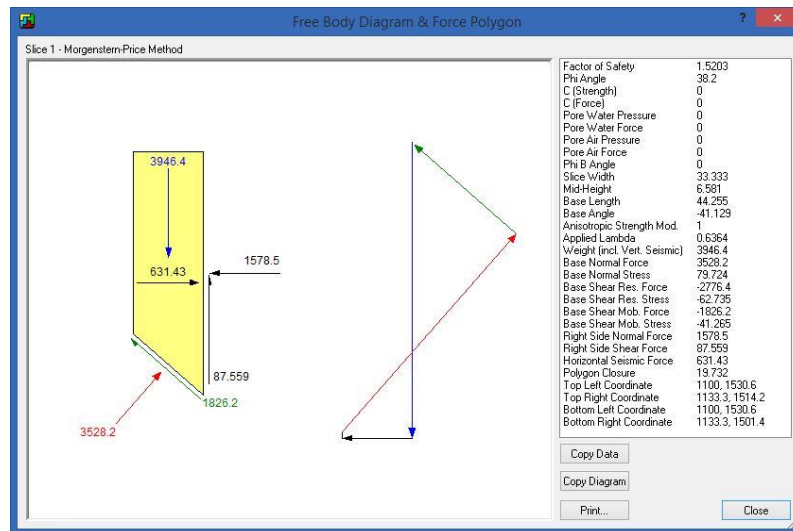
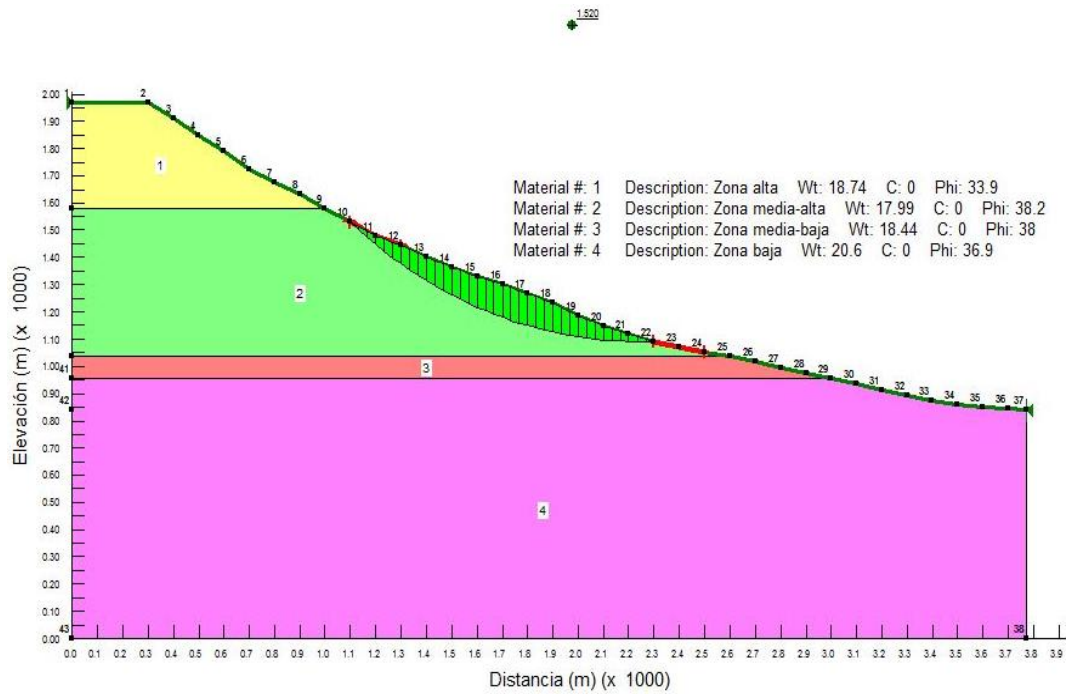


Figura 4.12 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Parte media de ladera (humedad cercana a la saturación, con sismo).

## 4.7.4. PARTE BAJA DE LA LADERA NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE

a. Análisis de Estabilidad bajo condiciones de humedad normales, sin sismo

Factor de Seguridad obtenido: 3.808

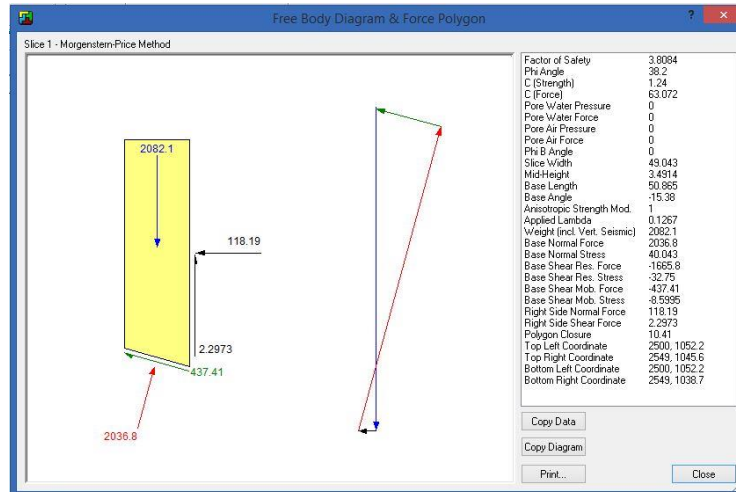
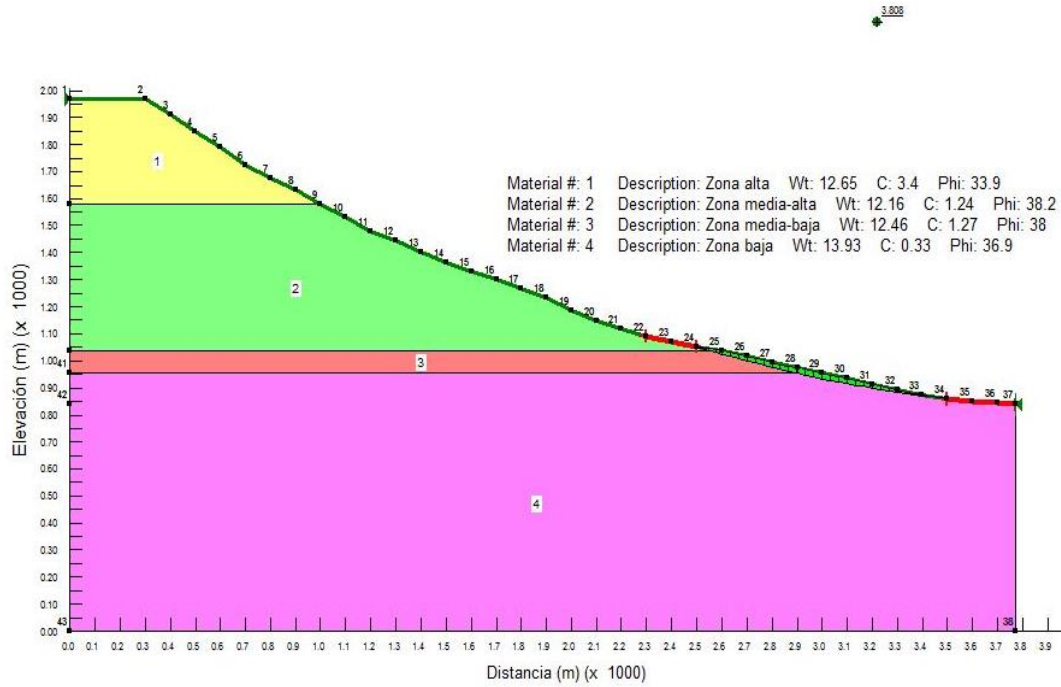


Figura 4.13 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Parte baja de ladera (humedad normal, sin sismo).

b. Análisis de Estabilidad bajo condiciones de humedad normales, con sismo

Factor de Seguridad obtenido: 2.126

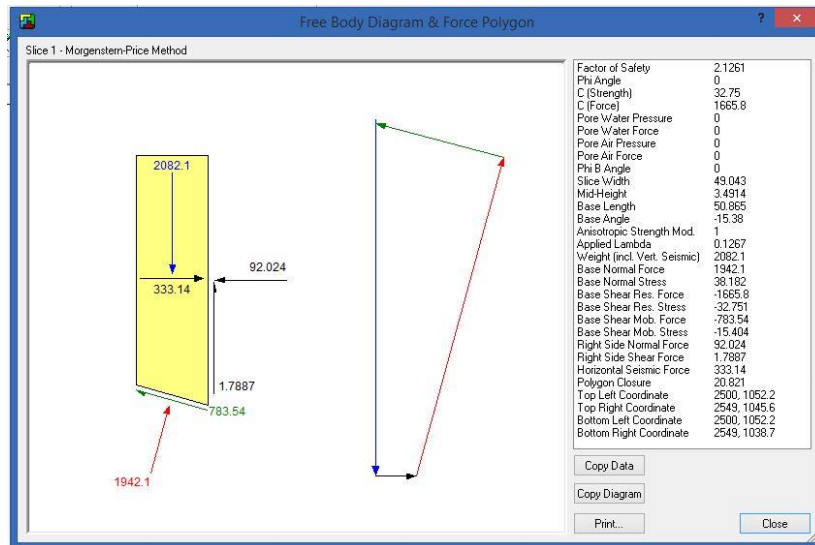
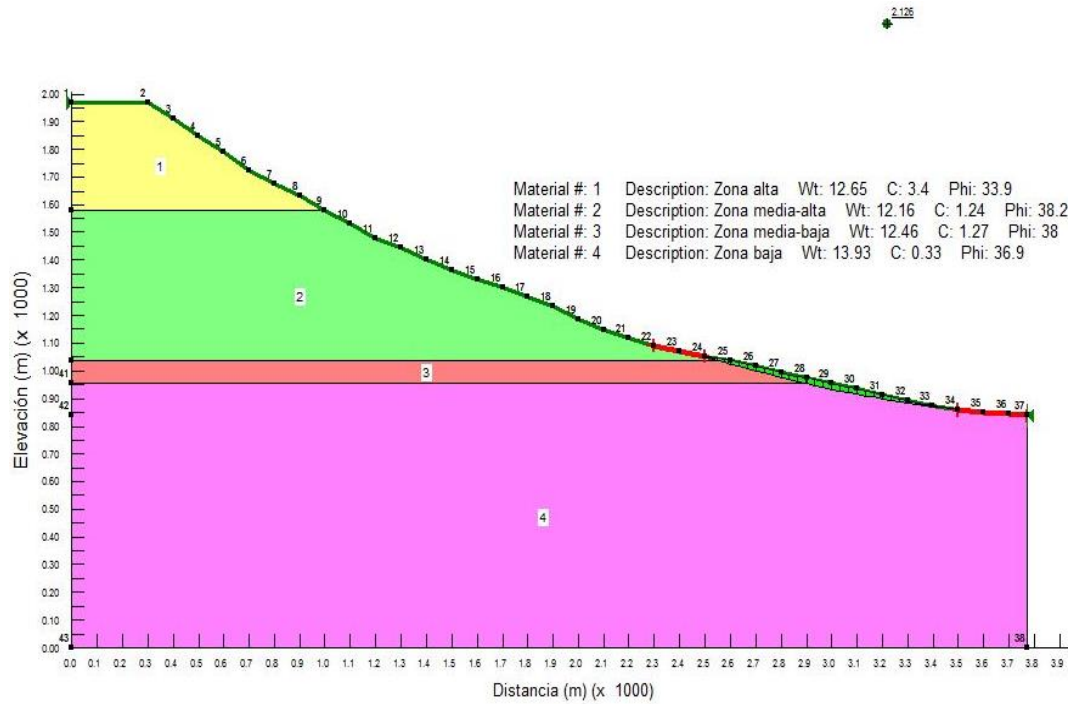


Figura 4.14 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Parte baja de ladera (humedad normal, con sismo).

c. Análisis de Estabilidad bajo condiciones de humedad cercanas a la saturación, sin sismo.

Factor de Seguridad obtenido: 3.787

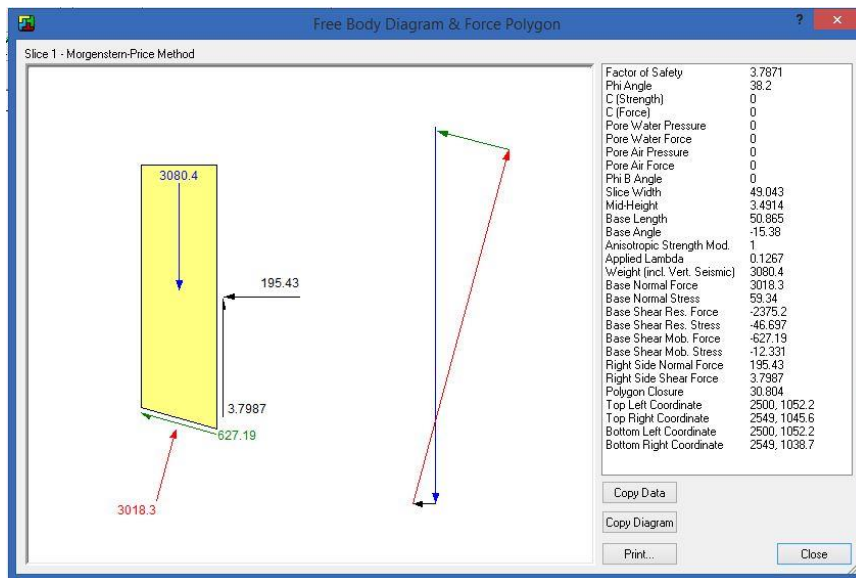
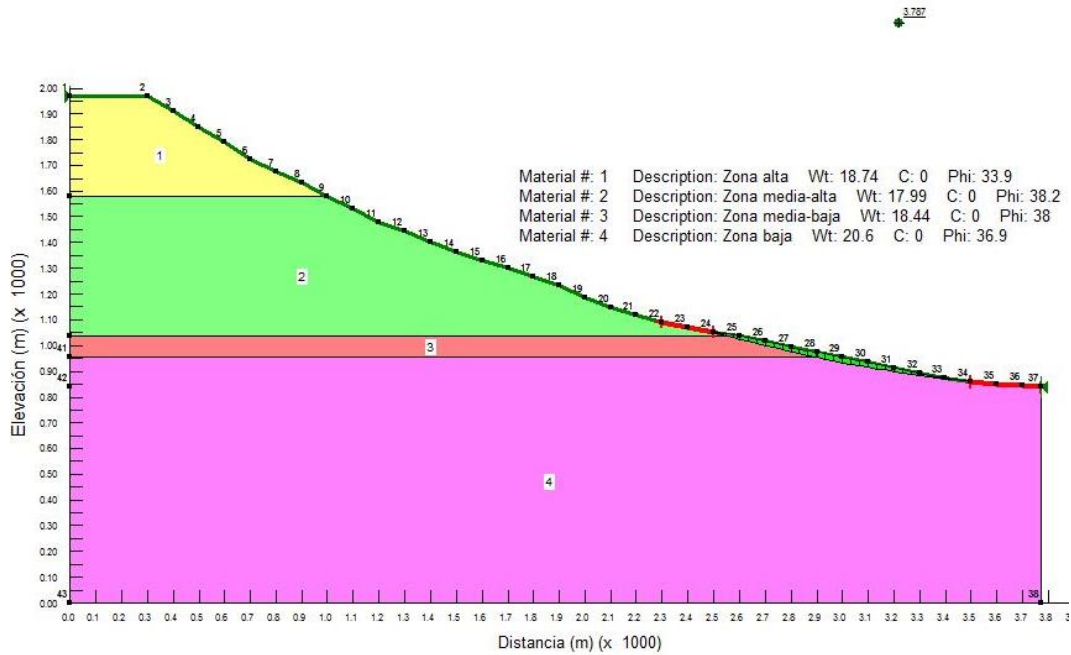


Figura 4.15 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Parte baja de ladera (humedad cercana a la saturación, sin sismo).

d. Análisis de Estabilidad bajo condiciones de humedad cercanas a la saturación, con sismo.

Factor de Seguridad obtenido: 2.114

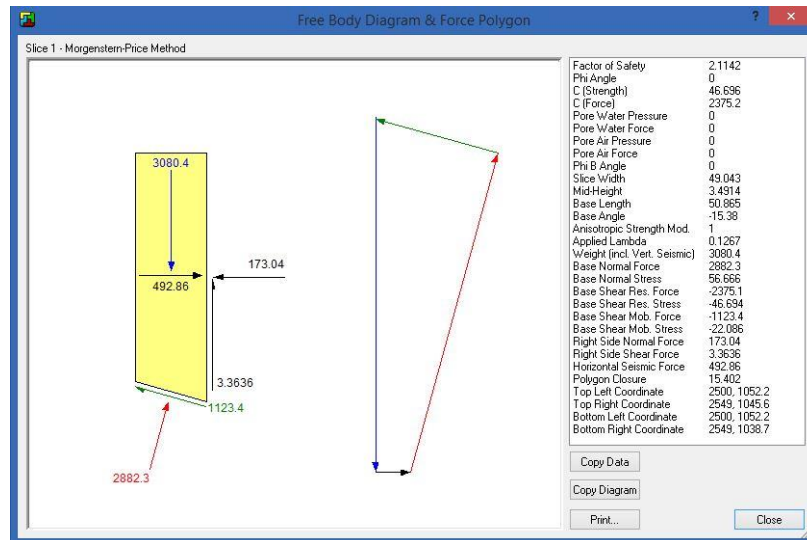
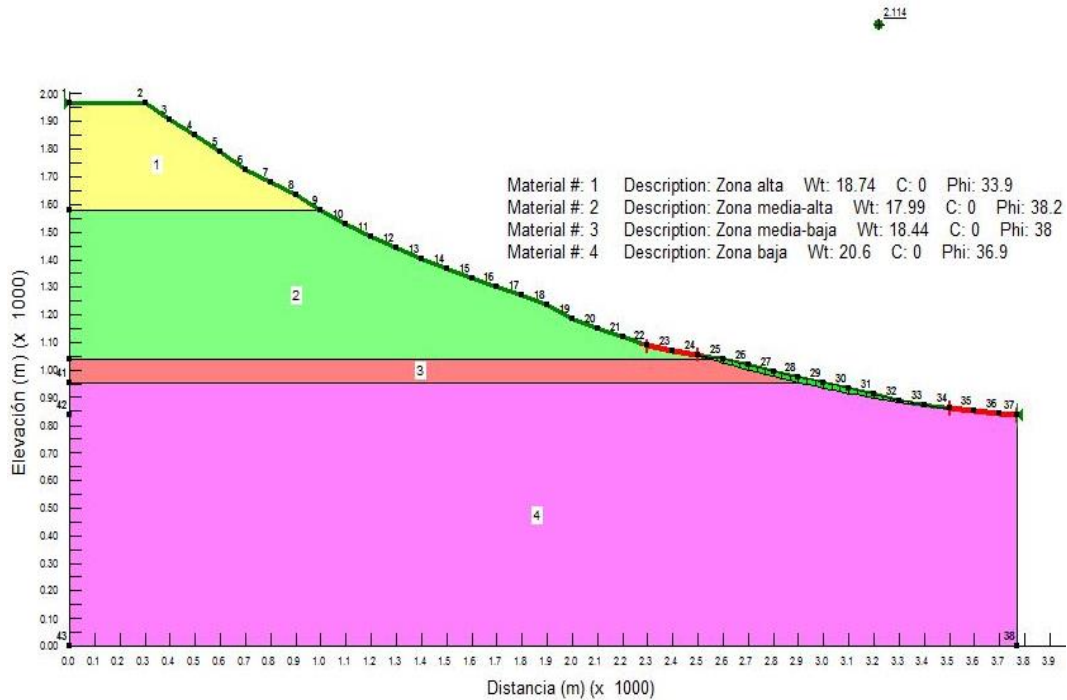


Figura 4.16 Resultado de Análisis de Estabilidad de talud. Parte baja de ladera (humedad cercana a la saturación, con sismo).

#### 4.8. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A manera de resumen, se presentan en la Tabla 4.4, los resultados de los análisis de estabilidad obtenidos en la ladera noroeste del volcán Chaparrastique; para condiciones de cargas gravitatorias y sísmicas, considerando los diferentes parámetros geotécnicos de la ladera y las diferentes condiciones de humedad (humedad normal y cerca de la saturación).

Tabla 4.4 Cuadro resumen de resultado de Análisis de Estabilidad.

Condición de carga evaluada	Factores de Seguridad Obtenidos	
	Humedad Normal	Humedad cercana a la saturación
<b>Ladera Total</b>		
Gravedad	2.309	2.306
Gravedad + sismo	1.511	1.510
<b>Zona Alta</b>		
Gravedad	1.333	1.333
Gravedad + sismo	1.032	1.023
<b>Zona Media</b>		
Gravedad	2.311	2.307
Gravedad + sismo	1.603	1.520
<b>Zona Baja</b>		
Gravedad	3.808	3.787
Gravedad + sismo	2.126	2.114

Fuente: Grupo de Tesis

A partir de los resultados mostrados en la tabla anterior, se observa que bajo condiciones de humedad normal el factor de seguridad la ladera en su totalidad es de **2.309** mayor que el valor mínimo establecido por la Norma Técnica de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes que es de **1.4** esto no nos indica que toda la ladera sea estable sino que es improbable que toda la ladera colapse.

Para condiciones de gravedad + sismo + humedad cercana a la saturación se tiene un valor de factor de seguridad de **1.510** mayor que **1.10** valor establecido por la Norma técnica para este caso, concluyéndose también que no es probable el colapso total de la ladera por sismo y saturación.

Se realizaron a la vez análisis de estabilidad para diferentes tramos de la misma ladera de forma independiente; dichos resultados se presentan en la Tabla 4.4, a partir de los cuales se observa que la zona alta de la ladera al ser evaluada bajo condiciones de carga de gravedad tanto en humedad normal como en humedad cercana a la saturación, su valor de seguridad es de **1.33**, menor al mínimo establecido por la Norma Técnica de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes, lo que nos indica que esta zona es inestable. Para condiciones de gravedad + sismo, tanto al ser evaluadas en condiciones de humedad normal y condiciones cercanas a la saturación, se obtuvieron valores menores al mínimo establecido (**1.10**), considerándose esta zona como altamente inestable.

En el análisis de estabilidad realizado en la zona media y baja de la ladera, para las diferentes condiciones de carga y porcentajes de saturación, los valores obtenidos para el factor de seguridad son mayores que los mínimos establecidos, por lo cual se consideran como estables estas zonas.



# **5. PROPUESTAS DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN**

## 5.1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de un estudio de estabilidad de taludes o laderas, es diseñar medidas de prevención, control, remediación y/o estabilización para reducir los niveles de amenaza y riesgo.

Se han desarrollado gran cantidad de técnicas probadas para el manejo de los taludes inestables o los deslizamientos. Sin embargo algunas obras representan una inversión considerable por lo que la mayoría de veces jamás son implementadas, por tanto se hace necesario elaborar soluciones que cumplan su función y que además sean factibles económicamente.

Generalmente, los beneficios más significativos desde el punto de vista de reducción de amenazas y riesgos, se obtienen con las medidas de prevención.

En los capítulos anteriores se ha hecho una reseña de los problemas que se tienen presentes en la ladera noroeste del volcán Chaparrastique en el sector de la comunidad Los Carretos; además de un análisis hidrológico y de estabilidad de la zona, a partir de los cuales se ha elaborado el presente capítulo, en el cual se proponen medidas para la estabilización de la misma.

Las medidas propuestas están dirigidas a los aspectos fundamentales en la gestión del riesgo: amenaza, vulnerabilidad y riesgo. Para lo cual se dividirá el capítulo cinco en tres partes:

**Medidas de mitigación de la amenaza:** en la cual se presentará el diseño de las obras civiles propuestas con el fin de controlar parcialmente la amenaza natural a la ocurrencia de un lahar de escombros en la zona; a través de dos obras civiles: un muro derivador de flujo que servirá para controlar el flujo de sedimentos y disminuir la velocidad del mismo; y una canaleta de mampostería de piedra para encausar el flujo de escombros después del punto de convergencia de las quebradas y así evitar que dicho flujo dañe la infraestructura

vial existente; finalmente en esta parte del capítulo se incluye el presupuesto de las obras diseñadas.

**Medidas de mitigación de la vulnerabilidad:** el sector vulnerable a considerar en esta investigación es la población residente en la zona de riesgo, por lo cual para eliminar la vulnerabilidad en la zona se propone un plan de reordenamiento territorial en el cual se establezcan los diferentes usos del suelo en el área de estudio, así como técnicas que permitan disminuir el deterioro y pérdida del suelo; además de su respectivo presupuesto.

**Medidas para la prevención y control del riesgo:** Se propone un instrumento que sirva de medidor de riesgo en la zona; de tal manera que sirva para cuantificar el grado de amenaza y de vulnerabilidad presente.

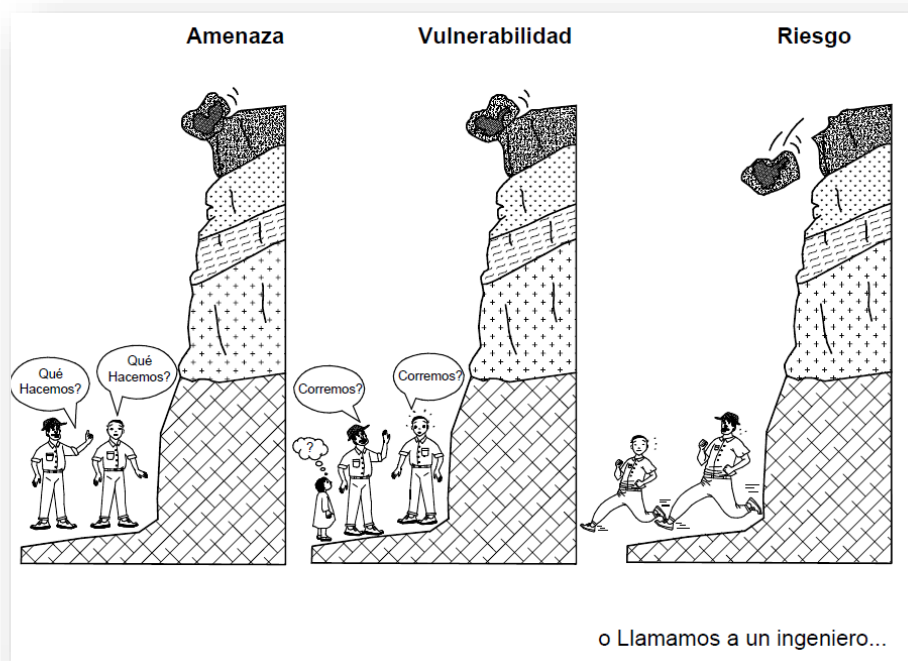


Figura 5.1 Manejo de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

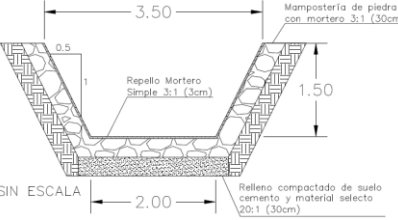
## 5.2. MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE LA AMENAZA

Como una medida para controlar y mitigar la amenaza activa antes de que se produzca el riesgo a personas o propiedades se propone la construcción de un muro derivador de mampostería de piedra; su construcción se propone abajo del deslizamiento para tratar de controlar la masa deslizante después de que se ha iniciado el movimiento, además se incluye también el diseño de una canaleta que permita encausar el flujo sin generar más daños a la infraestructura vial existente.

La representación gráfica, una pequeña descripción y la ubicación de las obras propuestas para mitigar la amenaza por deslizamiento, en la ladera noroeste del volcán Chaparrastique, se encuentran en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Obras de mitigación de la amenaza por deslizamiento.

Obra de mitigación	Volumen	Ubicación	Dibujo	Descripción
Muro derivador de flujo	87.92 m <sup>3</sup>	Se encuentra ubicado sobre la quebrada 1, a una altura de 1006.03 m.s.n.m., en el estacionamiento 2+100.00		<p><b>Vista de frente.</b> Muro de mampostería de piedra, dimensiones en el dibujo.</p> <p><b>Vista de perfil.</b> Muro de mampostería de piedra, dimensiones en el dibujo.</p>

Canaleta	374 m	Tiene como punto de origen el estacionamiento 3+100.00 sobre la quebrada 1 y como punto final el punto: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 260768 N</li> <li>• 578185 E</li> </ul>		Cuneta de mampostería de piedra, dimensiones según dibujo.
----------	-------	--	--	--

### 5.2.1. MURO DERIVADOR DE FLUJOS

Se ha decidido, con el fin de disipar energía, aumentar el tiempo de concentración y disminuir caudales, construir un muro derivador de flujo en el punto de interés 2, con el fin de aliviar el muro 3 existente y de esta manera evitar que los flujos lleguen con demasiada energía y velocidad a la zona afectada, evitar desbordamiento de las quebradas en la zona baja de la ladera, evitar que las vías de acceso al lugar se obstaculicen con los sedimentos y tener tiempo de evacuar a la población afectada en caso de un evento de grandes magnitudes.

Los factores que se tomaron en cuenta para localizar la obra en este sector son los siguientes:

- ✓ Pendiente baja respecto a la zona alta de la ladera (29%).
- ✓ Fácil acceso de maquinaria al lugar para cargar materiales y construir el muro derivador.

Datos del lugar:

- ✓ Coordenadas: 259639.903 N  
577989.308 E

- ✓ Altura: 1006.03 m.s.n.m.
- ✓ Estacionamiento: 2+100.00

### 5.2.1.1. ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA SECCIÓN DEL MURO

Se ha propuesto la construcción de una nueva sección en la zona de aproximación al muro derivador con una distancia de 10 metros y una pendiente del cero por ciento, con el fin de disminuir la velocidad de los lahares y aumentar el tiempo de llenado del muro, aumentando su base hasta los 12 metros y manteniendo su altura natural. (Ver Figura 5.2)

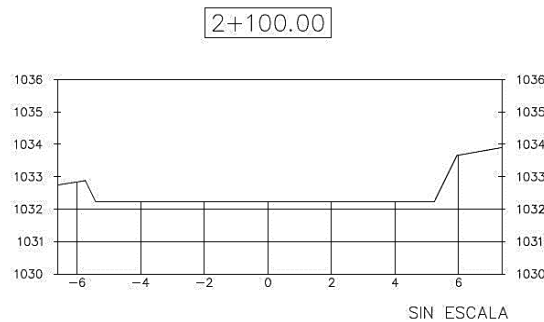


Figura 5.2 Sección transversal propuesta para muro.

A partir de la nueva sección que se ha propuesto, se ha hecho un nuevo análisis hidráulico del lugar para conocer de qué manera los flujos llegaran a este punto.

Por medio del software H-CANALES, se han obtenido los resultados hidráulicos de la sección, a partir de sus parámetros físicos e hidrológicos resumidos en la Figura 5.3.

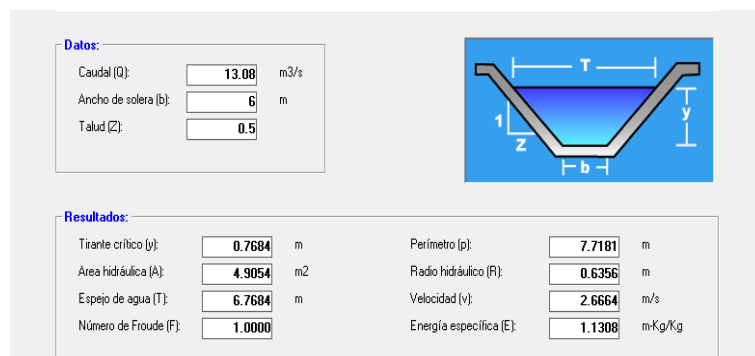


Figura 5.3 Resultado del software H-CANALES.

Se ha propuesto un vertedero en el muro (Figura 5.4), con una cresta de 2 m. y una altura de carga de 1.20 m; luego, analizando los resultados hidráulicos del software, se aprecia que con la sección hidráulica propuesta se puede disminuir la velocidad del flujo en un 55% tomando en cuenta que para la construcción de muros derivadores la velocidad de aproximación debe mantenerse lo más baja posible ya que de no ser así deben colocarse elementos disipadores de energía.

Respecto al tirante, tiende a subir en un 36% debido al cambio de pendiente, por lo que en la construcción del muro se tomara en cuenta este valor para evitar un posible rebalse de la obra y que trabaje lo más eficiente posible.

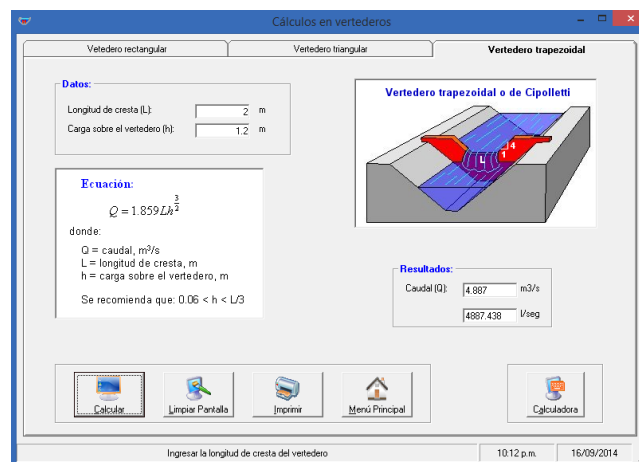


Figura 5.4 Predimensionamiento de vertedero Cipolletti.

### 5.2.1.2. DISEÑO DE MURO DERIVADOR

Teniendo los datos de caudal, se pudo encontrar a través del software H-CANALES, el tirante con el cual el flujo de sedimentos se aproxima a la sección propuesta (0.75 m.) y de esta manera ubicar la altura del muro; aparte se ha propuesto la colocación de gradas disipadoras de energía, a lo largo de todo el muro derivador, en la salida de los flujos con una huella de 0.80 m. y una contrahuella de 0.50 m., para disminuir la velocidad de los

flujos de lahar que pasen por la sección; igualmente si se llegase a rebalsar el muro, las gradas disipadoras disminuirían la energía que dichos flujos tienen.

Tomando como base la Norma Técnica para Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes y otros documentos para dimensionar muros de retención, se diseñó el muro derivador de la siguiente manera:

- Altura de muro (del nivel del suelo): 2.70 m.
- Nivel de desplante: 2.0 m.
- Ancho de muro: 12.0 m.
- Cresta: 2.0 m.
- Altura de carga: 1.20 m.
- Altura de vertedero: 1.50 m.
- Base del muro: 3.30 m.
- Talón del muro: 0.80 m.

### **5.2.2. CANALETA TRAPEZOIDAL**

Con el fin de evitar que se obstaculice la vía de transporte, se ha propuesto una canaleta en base a cálculo de caudales, encontrados posteriormente al estudio hidrológico, para luego hacer un análisis hidráulico y de esta manera dimensionar la canaleta.

Luego de analizar la situación, se hizo un recorrido por la zona donde se pretende construir la obra, verificando si existen casas sobre el trazo de la misma, si hay algún lugar donde se puede depositar los sedimentos sin que afecte a la población y si realmente es viable proponer este tipo de obra de mitigación.



En la siguiente figura se mostrará el análisis hidráulico realizado en el software H-CANALES:

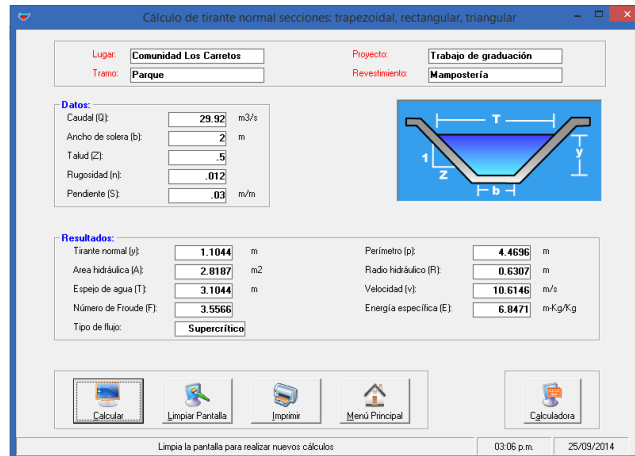


Figura 5.5 Diseño hidráulico de la canaleta.

#### Datos de la canaleta:

- ✓ Coordenadas de inicio de la canaleta: 260512.55 N, 577943.63 E
- ✓ Coordenadas finales de la canaleta: 260768.0 N, 578185.0 E
- ✓ Caudal de diseño: 29.92 m<sup>3</sup>/s
- ✓ Ancho de solera: 2.0 m
- ✓ Rugosidad: 0.012 (revestimiento de concreto)
- ✓ Pendiente: 0.03 %
- ✓ Talud: 0.5
- ✓ Tirante: 1.10 m
- ✓ Velocidad del flujo a través de canaleta: 10.6 m/s
- ✓ Longitud de canaleta: 374.0 m

Luego del análisis hidráulico, se dimensionó la canaleta en base a los datos arrojados por el software proponiendo una canaleta trapezoidal con una solera de 2 metros de ancho, una altura de tirante de 1.50 m. y un espejo de agua de 3.50 de m., formando así, un talud de 0.5.

Se propone una canaleta de mampostería de piedra (3:1) con espesor de 30 cm, un repello y afinado (3:1) de 3 cm, acompañado con un relleno compactado de suelo cemento (20:1)

en la base de canaleta de 30 cm de espesor, para evitar asentamientos. Se decidió por este tipo de canaleta debido al tipo de material que va a transportar, ya que si se propone de tierra conformada puede ocasionar erosión en la superficie y con el tiempo deformar la canaleta.

### 5.2.3. PRESUPUESTO DE OBRAS CIVILES

PROYECTO: CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS EN SECTOR DE COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL Y PROPUESTA DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN DE LADERAS

Tabla 5.2 Presupuesto de obras civiles.

N	Descripción partida	Cant.	U	COSTO DIRECTO			Costo directo	Costo Ind.	IVA 13%	Total Costo Unitario	Costo Parcial	Costo de partida
				Mat.	M.O.	Otros						
1	Trazo lineal para la construcción	408.00	m	\$0.20	\$0.17	\$ 0.01	\$ 0.38	\$0.10	\$0.06	\$0.48	\$0.54	\$ 220.32
2	Excavación de material con maquinaria	2657.38	m³	\$-	\$-	\$ 2.50	\$ 2.50	\$0.63	\$0.41	\$3.13	\$3.54	\$9,407.13
3	Desalojo de material	2657.38	m³	\$-	\$-	\$ 3.00	\$ 3.00	\$0.75	\$0.49	\$3.75	\$4.24	\$11,267.29
4	Relleno compactado con suelo-cemento (prop. 20:1), e= 30 cm, material selecto	374.60	m³	\$29.83	\$6.30	\$ 15.62	\$ 51.75	\$12.94	\$8.41	\$64.69	\$73.10	\$27,383.26
5	Muro de mampostería de piedra proporción 1:3	87.92	m³	\$77.44	\$29.92	\$ 1.50	\$ 108.86	\$27.22	\$17.69	\$136.08	\$153.77	\$13,519.46
6	Gradas disipadoras de mampostería de piedra proporción 1:3	26.52	m³	\$76.49	\$29.92	\$ 1.50	\$ 107.91	\$26.98	\$17.54	\$134.89	\$152.43	\$4,042.44
7	Canaleta de mampostería de piedra	374.00	m	\$98.43	\$ 11.55	\$ 0.58	\$ 110.56	\$27.64	\$17.97	\$138.20	\$156.17	\$58,407.58
<b>COSTO DE PROYECTO</b>												<b>\$ 109,953.52</b>
<b>IVA</b>												<b>\$ 14,293.96</b>
<b>COSTO TOTAL DE PROYECTO</b>												<b>\$ 124,247.48</b>

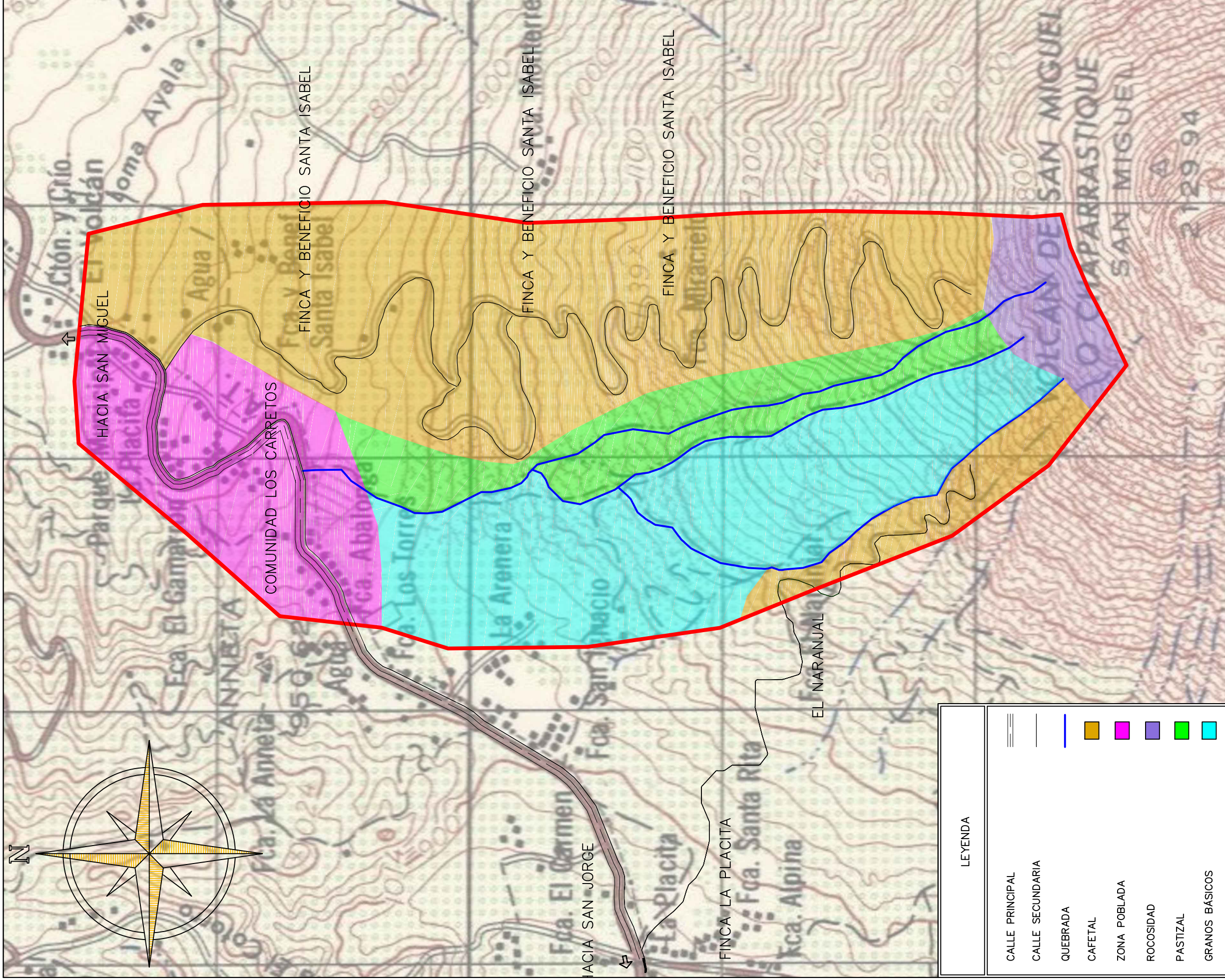
### **5.3. MEDIDAS PROPUESTAS PARA LA MITIGACIÓN DE LA VULNERABILIDAD**

Las vidas humanas son el elemento más importante a tener en cuenta en la evaluación del riesgo. Por lo tanto la prioridad de esta investigación es la protección de las mismas.

Se ha de comprender que la vulnerabilidad depende principalmente de la exposición del elemento a la amenaza. Por ejemplo, a mayor distancia del deslizamiento, la vulnerabilidad tiende a ser menor; la comunidad Los Carretos está ubicada sobre la ruta de los lahares producidos en las faltas del volcán Chaparrastique. Tomando lo anterior como premisa, se presenta como medida propuesta para la mitigación de la vulnerabilidad un plan de reordenamiento territorial ya que se ha contemplado como la única solución viable la reubicación de la población afectada a otro sector fuera del área de riesgo.

#### **5.3.1. PROPUESTA PARA EL REORDENAMIENTO TERRITORIAL CANTÓN EL VOLCÁN MUNICIPIO DE SAN MIGUEL**

El cantón El volcán en la actualidad se encuentra ordenado de la manera siguiente: 5% del área total corresponde al sector rocoso, 45% es bosque cafetalero, 25% granos básicos, 10% pastizales y un 15% que corresponde a los asentamientos humanos. (Ver Figura 5.6). En campo se puede observar como la deforestación provocada por la quema y tala descontrolada de los árboles, ha provocado un alto grado de erosión en todo el cantón, especialmente en todas aquellas áreas que están fuera del bosque cafetalero. En cuanto al cultivo de granos básicos, estos no se efectúan atendiendo los procesos de conservación de suelos, no se emplean prácticas rotativas de cultivo; lo que ha provocado la pérdida de las propiedades de suelo que ayudan a la estabilidad. La distribución y uso del suelo en dicho cantón no es la adecuada y se convierte en un elemento que aumenta tanto la amenaza natural existente como la vulnerabilidad de los residentes del lugar.



LEYENDA	
CALLE PRINCIPAL	≡≡≡
CALLE SECUNDARIA	—
QUEBRADA	—
CAFETAL	■
ZONA POBLADA	■
ROCOSIDAD	■
PASTIZAL	■
GRANOS BÁSICOS	■

PROYECTO: CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS EN SECTOR DE COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL Y PROPUESTA DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN DE LADERAS”

CONTENIDO: FIGURA 5.6 – ORDENAMIENTO TERRITORIAL ACTUAL

UBICACIÓN: COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL

ASESOR: ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO

PRESENTAN: GONZÁLEZ CORNEJO, ERICK NOÉ  
PONCE LOBOS, FRANCISCO JAVIER  
ULLOA MONTOYA, EVA ISABEL

FECHA: NOVIEMBRE/2014  
ESCALA: 1:15,000

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Para esto se ha desarrollado un plan de reordenamiento territorial, en el cual se trata de hacer una mejor distribución del uso de suelo, aumentar la capacidad productiva de las áreas afectadas propensas a la degradación, prevenir y reducir la erosión, recuperar el drenaje del suelo, mantener y mejorar la fertilidad del suelo y las prácticas agrícolas.

**Propuestas para el plan de reordenamiento territorial:**

- ✓ Preservar la biodiversidad y ecosistema del lugar, evitando la caza furtiva, la tala y quema indiscriminada de árboles, etc.
- ✓ Evitar asentamientos poblacionales y de esta manera, disminuir la vulnerabilidad de los habitantes de la comunidad Los Carretos.
- ✓ Declarar la zona como área protegida, debido a la amenaza por deslizamientos de lahares y a la actividad eruptiva constante del volcán Chaparrastique.
- ✓ Desarrollar y ejecutar un plan de conservación de suelos para la ladera noroeste del volcán.

Para este último ítem, se ha desarrollado una propuesta la cual se presentará a continuación:

**Plan de conservación de suelos.**

La conservación del suelo, en la agricultura y en la ganadería es un conjunto de prácticas aplicadas para promover el uso sustentable del suelo. La erosión es uno de los mayores problemas relacionados con el uso inadecuado del suelo. Sin prácticas adecuadas que protejan el suelo, el resultado puede ser un profundo desequilibrio del sistema productivo. Las áreas de suelo con un uso inadecuado reducen significativamente su potencial productivo, por lo que hoy día se trabaja para renovar y acondicionar las técnicas productivas y para preservar los recursos naturales y del suelo en particular. La planificación técnica previa es importante para la conservación del suelo, ya que es preciso analizar todos los problemas, pues no es suficiente con resolver sólo una parte de los mismos, se deben considerar también los costos de ejecución.

La conservación de los suelos implica, en primer lugar, educar a la población para erradicar tres prácticas muy negativas:

- La quema de rastrojos o residuos agrícolas:

Estos residuos son materia orgánica necesaria para mantener la fertilidad de los suelos y deben ser integrados al mismo.

- La costumbre de quemar o incendiar la vegetación de las laderas y bosques.

El uso del fuego en el campo se hace con gran irresponsabilidad y cada año se generalizan los incendios en las laderas del volcán.

- El desorden generalizado en la ocupación de las tierras de aptitud forestal y de protección:

Esto sucede especialmente en las partes altas donde se ocupan tierras no aptas para la agricultura y la ganadería sin ningún control, y se talan y queman los bosques, con consecuencias de degradación grave del suelo ocasionando deslizamientos que afectan la infraestructura vial y urbana.

En la Figura 5.7 se observan el tipo de vegetación recomendada para cada zona; para la parte alta de la ladera, se sugieren arbustos livianos de raíces largas, evitando así agregar mayor carga a la zona, además se disminuye las fuerzas del viento sobre ellos; en la parte baja se recomiendan los árboles de mayor tamaño para brindarle estabilidad a la ladera.

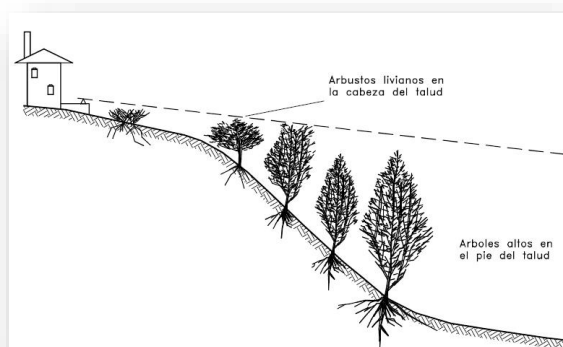


Figura 5.7 Tipo de vegetación según elevación del talud.

La información antes mencionada permitió identificar las condicionantes que actúan sobre el territorio y sus posibilidades de uso, por lo que se ha hecho una clasificación de zonas en base a pendientes en toda nuestra área de estudio, las cuales conforman el reordenamiento propuesto y se muestran a continuación:

- ✓ Restricción ambiental total
- ✓ Restricción ambiental moderada
- ✓ Mediana factibilidad para el cambio de uso de suelos
- ✓ Alta factibilidad para el cambio de uso de suelos

#### **5.3.1.1. RESTRICCIÓN AMBIENTAL TOTAL**

Esta zona está ubicada desde la cota 1500 m.s.n.m. a 1900 m.s.n.m., los criterios empleados para su designación fueron los siguientes:

Posee pendientes superiores a 70%

Forma parte de la ruta de lahares presentes en la zona

Presenta un grado crítico por deslizamiento y ocurrencia de lahares

Originalmente esta zona era un bosque cafetalero.

#### **Propuesta de conservación de suelos para esta zona:**

- ✓ **Cafetal:** mantenimiento del bosque cafetalero que ya se encuentra en la zona, con el objetivo de frenar la erosión y tener un desarrollo de una agricultura sostenible que beneficie a la comunidad.
- ✓ **Zona de protección de quebrada:** en esta zona se pretende la revegetación de la ladera ya que ayudara a controlar la erosión y a aumentar el factor de seguridad. Los factores a considerar en la propuesta de las técnicas de conservación de suelos son: el tipo de barrera viva a usar, la disposición en el terreno de la misma y la función que desempeñara.



### **Barrera viva de vetiver (*vetiveria Zizanioides*).**

Consiste en la colocación de hileras densas de pasto valeriana (vetiver, zacate violeta) en curvas a desnivel (ver Figura 5.8). La distancia entre curvas depende de la pendiente y del tipo de suelo (ver Tabla 5.3). Sirven para mejorar la infiltración del agua en el suelo y para reducir la velocidad del agua en la ladera, sirviendo además como filtro captando los sedimentos que van en el agua de escurrimiento. El buen manejo de la barrera viva tiene como resultado la formación paulatina de terrazas.



*Figura 5.8 Hileras de vetiver.*

*Tabla 5.3 Distancia entre curvas según pendiente.*

<b>Porcentaje de pendiente %</b>	<b>Distanciamiento entre curvas (m)</b>
<b>2</b>	30
<b>5</b>	28
<b>8</b>	24
<b>10</b>	20
<b>14</b>	18
<b>16</b>	15
<b>20</b>	14
<b>25</b>	12
<b>30</b>	10
<b>35</b>	8
<b>40</b>	5
<b>45</b>	4
<b>más de 45</b>	2

Fuente: **Cartilla barreras vivas**, Sebastián Galindo.

**Características del vetiver:** El vetiver posee una amplia adaptación a condiciones tales como: elevaciones hasta 2600 m., temperaturas entre -9 y +45 grados centígrados, precipitaciones menores de 500 mm y humedad de 6000 mm. Se adapta a suelos de todo tipo. Prefiere suelos profundos donde las raíces crecen rectas hasta 4 m. de profundidad.

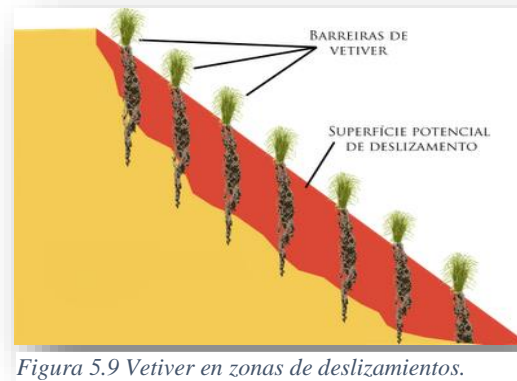


Figura 5.9 Vetiver en zonas de deslizamientos.

**Actividades para mantener la obra:**

1. El establecimiento inicial es lento. Vetiver necesita 2-3 años para formar una barrera viva densa. Durante los primeros 2-3 años las plantas necesitan protección contra la maleza y es necesario rellenar cualquier espacio vacío en las hileras y mantener la humedad.
2. Después de este periodo inicial se hace 1-2 podas de manejo por año (entre febrero y marzo, y entre julio y agosto) a una altura de la planta entre 30-50 cm. (no basal), para que las barreras se vuelvan más densas y más eficaces para filtrar el escurrimiento.
3. La barrera de vetiver dura hasta 60-100 años.
4. Se recomienda controlar la maleza 1 vez por año durante el periodo lluvioso.

***Necesidad de mano de obra para implementar y mantener la practica:***

El establecimiento de la barrera de vetiver necesita mano de obra al inicio de la época lluviosa. Las actividades para establecer y mantener la barrera viva son: Trazado de las curvas, preparación del terreno (rayado), siembra y dos limpieas.

***Contribución al control de erosión:***

La masa radicular densa y el incremento del número de brotes forman una barrera fuerte que además de amortiguar más eficientemente el golpe de la lluvia, tiene un excelente control de la erosión a los 2-3 años después del establecimiento.

***Otros beneficios del vetiver:***

- Se extrae aceite de sus raíces y tiene propiedades medicinales, es buen cicatrizante y calmante.
- Se usa ampliamente en la elaboración de perfumes.
- En algunos países, se usa en el tratamiento de aguas residuales.

**Como segundo elemento se propone las Empalizadas trenzadas de vegetación o fajinas de ladera.**

Las fajinas son manojos de ramas que se entierran en zanjas poco profundas para que germinen en forma similar a como lo hacen las estacas vivas.

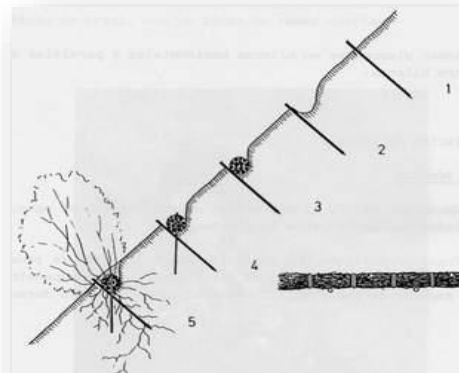


Figura 5.10 Construcción de empalizadas con fajinas de vegetación.

Se tienden fajinas de plantas leñosas vivas en zanjas con una anchura y profundidad de 30 a 50 cm. Cada fajina debe constar por lo menos de cinco ramas con un diámetro mínimo de un cm. Las fajinas de ladera se fijan con estacas vivas o muertas de 60 cm de longitud como mínimo, colocadas a intervalos de 80 cm. Las estacas deben clavarse en la ladera verticalmente y con profundidad suficiente para quedar enrasadas con la parte superior de la fajina. Las estacas de acero son mejores que las de madera debido a su menor diámetro con resistencia equivalente. Inmediatamente después de la plantación, se vuelven a cubrir las zanjas con tierra de tal modo que sólo una pequeña parte de las ramas sobresale del terreno. Es conveniente construir las fajinas de ladera comenzando desde la parte superior de ésta (Ver Figura 5.10.Escalones 1 a 5).

***Disposición.***

La disposición de las fajinas de ladera debe ser horizontal o ligeramente inclinada con respecto a la línea horizontal (Ver Figura 5.11).



*Figura 5.11 Construcción de empalizadas con fajinas de vegetación, de dos años, utilizando sauces.*

El principal uso de las fajinas es el control de erosión, especialmente en zonas de cárcavas. Las fajinas a su vez forman unas líneas decorativas muy agradables al paisaje.

Las fajinas generalmente, se hacen con hierbas y juncos adaptados a las condiciones climáticas del sitio. En ocasiones se requiere colocar estacas para ayudar a la conformación de las fajinas vivas.

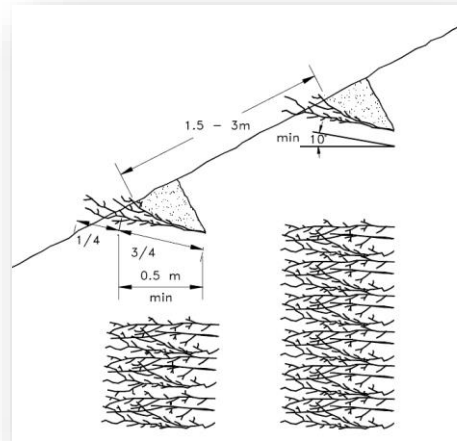


Figura 5.12 Fajinas vivas.

El espaciamiento entre fajinas varía de acuerdo a la inclinación del talud.

Tabla 5.4 Espaciamiento recomendado para fajinas vivas (Gray y Sotir, 1996).

Ángulo de talud H:V	Espaciamiento en líneas de igual nivel (m)	Espaciamiento en ángulo (m)
1:1 a 1.5:1	1 a 1.2	0.6 a 1.0
1.5 :1 a 2:1	1.2 a 1.5	1.0 a 1.2
2:1 a 2.5:1	1.5 a 1.8	1.0 a 1.2
2.5:1 a 3:1	1.8 a 2.4	1.2 a 1.5
3:5 a 4:1	2.4 a 2.7	1.5 a 2.1
4.5 :1 a 5:1	2.7 a 3.0	1.8 a 2.4

✓ **Zona de protección de ladera:**

En esta zona se recomienda la combinación de barreras vivas de vetiver y zacate limón.

### **Barrera viva de Zacate Limón (*Cymbopogon citratus*).**

Las hileras densas de Zacate Limón deberán ser colocadas en curvas a nivel. La distancia entre curva depende de la pendiente y del tipo de suelo.

Sirven para reducir la velocidad del agua en la ladera, sirviendo además como filtro captando los sedimentos que van en el agua de escurrimiento.

**Características del zacate de limón:** Tiene el nombre botánico de *Cymbopogon citratus*. Es un zacate perenne de estatura mediana (1.5-2.0 m), posee un sistema radicular agresivo;



Figura 5.13 Macollos de zacate de limón.

con propagación vegetativa por cepas. Posee una amplia adaptación a condiciones tales como: elevaciones hasta 2000 m., temperaturas entre -9 y +45 grados centígrados, se adapta a zona semi-secas y semi-húmedas con precipitaciones por encima de los 700mm. Prefiere suelos profundos pero crece moderadamente en suelos superficiales siempre y cuando hay buen drenaje.

#### ***Actividades para mantener la obra:***

1. El Zacate Limón tiene un macollamiento fuerte formando rápidamente una barrera densa. Sin embargo, se recomienda resembrarla cada 4-5 años debido a la susceptibilidad a la pudrición de las raíces y los insectos barrenadores en el tallo.
2. En caso de un macollamiento fuerte la barrera puede ser demasiado ancho y se requiere un desmacollamiento por ambos lados.

***Contribución al control de erosión:***

Reduce la escorrentía y mejora la infiltración del agua, mayor valor económico de la finca o terreno por conservación de suelos.

***Otros beneficios del zacate limón:***

- Es usado para hacer jabones, repelentes para mosquitos, insecticidas y veladoras.
- Se puede utilizar para uso medicinal y para la producción de té.
- Es usado en la gastronomía.

**5.3.1.2. RESTRICCIÓN AMBIENTAL MODERADA**

Esta zona está ubicada desde la cota 1100 m.s.n.m. a 1500 m.s.n.m., los criterios empelados para su designación fueron los siguientes:

Posee pendientes entre 50% y 70%

Forma parte de la ruta de lahares presentes en la zona

Presenta riesgo moderado por deslizamiento y ocurrencia de lahares

Presencia de obras de protección

Originalmente esta zona era un bosque cafetalero.

**Propuesta de conservación de los suelos para esta zona:**

- ✓ **Cafetal:** mantenimiento del bosque cafetalero que ya se encuentra en la zona, con el objetivo de frenar la erosión y tener un desarrollo de una agricultura sostenible que beneficie a la comunidad.
- ✓ **Zona de protección de quebrada:** el tipo de vegetación que se sugiere son arbustos livianos de raíces largas, arbustos medianos.

El tipo de barreras vivas propuestas para esta zona son: zacate vetiver, fajinas de ladera y barreras vivas conformadas con izote, las dos primeras ya explicadas con anterioridad, por lo cual se procede a explicar la última:

**Barrera viva de Izote (Yuca elephantipes).** El izote posee características bastante aceptables en la industria, la medicina y la agricultura, la flor blanca es también un excelente comestible; además se utiliza para conformar las barreras vivas en laderas o taludes, que presentan un alto grado de erosión.



Figura 5.14 Plantación de Izote usada como barrera viva.

**Características del izote (Yuca elephantipes):** el izote se desarrolla en alturas comprendidas entre 200 a 1800 m.s.n.m., con precipitaciones entre 800 y 3000 mm anuales y temperaturas comprendidas entre 16 y 38° C. Tolera suelos secos y arenosos, requiere poco riego. (Chizmar, 2009)

Es recomendable su siembra en terrenos con mucha pendiente y peligros de deslave.

**Actividades para mantener la obra:**

1. El establecimiento inicial es lento. El izote necesita de 1-2 años para formar una barrera viva densa.
2. Después de este periodo inicial se hace 1-2 podas de manejo por año para que las barreras se vuelvan más densas y más eficaces para filtrar el escurrimiento.



***Necesidad de mano de obra para implementar y mantener la practica:***

El establecimiento de la barrera de izote necesita mano de obra al inicio de la época lluviosa. Las actividades para establecer y mantener la barrera viva son: Trazado de las curvas, preparación del terreno, siembra y dos limpiezas.

***Contribución al control de erosión:*** Protege contra la erosión del suelo producida por el agua de escorrentía; pero también de la erosión causada por el viento, disminuye la velocidad del agua de lluvia, ayuda a que el agua lluvia penetre en la tierra, mejora la fertilidad de suelo y detiene la tierra que es arrancada por la lluvia.

***Otros beneficios del izote:***

- Su flor es comestible y sus hojas son usadas para alimentar al ganado.
- Tiene propiedades medicinales, como la eliminación de quistes y purificación de la sangre.

✓ **Zona de protección de ladera:**

En esta zona se recomienda la combinación de barreras vivas de izote, zacate limón y vetiver.

**5.3.1.3. MEDIANA FACTIBILIDAD PARA EL CAMBIO DEL USO DEL SUELO**

Esta zona está ubicada desde la cota 900 m.s.n.m. a 1100 m.s.n.m., los criterios empelados para su designación fueron los siguientes:

Posee pendientes entre 30% y 50%

Forma parte de la ruta de lahares presentes en la zona

Presenta riesgo moderado por deslizamiento y ocurrencia de lahares

Presencia de obras de protección

Originalmente esta zona era un bosque cafetalero.

En cuanto a la propuesta de conservación de los suelos para este sector se ha dividido de igual manera en tres áreas:

- ✓ **Cafetal:** mantenimiento del bosque cafetalero que ya se encuentra en la zona, con el objetivo de frenar la erosión y tener un desarrollo de una agricultura sostenible que beneficie a la comunidad.
- ✓ **Zona de protección de quebrada:** para la protección de las quebradas se seguirá empleando las barreras vivas: zacate vetiver, y se incluirá bambú

**Barrera viva con bambú (*Bambusa*).** Como cultivo el bambú hace una importante contribución al medio ambiente, como reconstituyente del mismo. Brinda beneficios a corto y mediano plazo, lo que lo convierte en una excelente opción, para la preservación de cuencas hidrográficas, prevención y control de la erosión, Como material para la construcción, posee características especiales en cuanto a flexibilidad y ligereza, permitiendo gran variedad en las construcciones.

Se recomienda sembrarlo en terrenos deforestados y orillas de quebradas.



Figura 5.15 Plantación de bambú..

**Características del bambú (*Bambusa*):** las plantas de bambu se desarrollan en temperaturas que varían de 9 a 36° C. El bambú prefiere los suelos aluvionales y bien drenados

Las plantas de bambú exigen abundante luz al inicio de su desarrollo; por lo que el terreno debe estar libre de sombra. En terrenos inclinados o susceptibles a la erosión, la sombra se elimina mediante podas y chapeos, usando el método de anillamiento o corona, que consiste en eliminar totalmente las malezas del suelo alrededor de las plantas en un diámetro de 1.5 m

***Actividades para mantener la obra:***

1. El establecimiento inicial es lento. El bambú necesita de 1 a 4 años para formar una barrera viva densa, filtrar el escurrimiento y detener parcialmente los deslizamientos.
2. Después de este periodo inicial se hace ciclo de cortes por año para que las barreras se vuelvan más densas y más eficaces.

***Contribución al control de erosión:*** Protege viviendas, terrenos, caminos y otra infraestructura comunal, porque retiene y estabiliza suelos amenazados por derrumbes que pueden ser causados por las aguas de lluvia, el uso intensivo e inadecuado del terreno o por factores de origen natural en laderas, controla la profundización de cauces en pequeños drenajes naturales, reduce la pérdida de suelos fértiles, sirve para recuperar y proteger áreas agrícolas, facilita la entrada del agua hacia los suelos.

***Otros beneficios del bambú:***

- Es un material usado en la construcción y decoración.
- Tiene propiedades medicinales, eficaz para enfermedades de los huesos y de la piel.
- ✓ **Zona de protección de ladera:**

En esta zona se recomienda la combinación de barreras vivas de izote, zacate limón, vetiver y piñuela.

### **Barrera viva de piñuela (*Bromelia Karata*).**

Consiste en la colocación de hileras densas de piñuela o piña de cerco, colocadas en curvas a nivel. La distancia entre curvas depende de la pendiente y del tipo de suelo. Sirven para reducir la velocidad del agua, sirviendo además como filtro captando los sedimentos que van en el agua de escurrimiento. Se conocen dos tipos, la cabeza negra y la piñuela de garrobo.

Crece hasta una altura de 2 m y forma barreras mucho más densas que la piña común. Por esta razón, se puede utilizar la barrera viva de piñuela también en pendientes fuertes. (Ver Figura 5.16)



*Figura 5.16 Hileras de piñuelas en ladera.*

***Características:*** La piña de cerco se desarrolla bien en zonas bajas hasta 1000 m de altura, en lugares soleados. Se adapta bien en un amplio rango de precipitaciones (500-3000 mm), a suelos arenosos hasta arcillosos siempre y cuando estén bien drenados y con pendientes de hasta 50%.

Tolera sequía, pero necesita lluvias por lo menos durante dos meses para su establecimiento.

#### ***Actividades para mantener la obra:***

1. Se hacen hasta dos deshierbas al año al mismo tiempo del deshierbe de los cultivos en la parcela.
2. A partir del tercer año, se hacen dos podas por año (mayo y noviembre) a 1-1.2 m de altura. El material cortado se coloca en la parte de arriba de la barrera o se riega

en la parcela como mucho. Al mismo tiempo se cortan los retoños laterales para evitar la invasión de la barrera de la parcela. El tipo de cola de garroba tiende a extenderse más que el tipo de cabeza negra. 3. Los retoños se utilizan para resiembra o consumo (estado joven = piñico).

***Necesidad de mano de obra para implementar y mantener la práctica:***

El establecimiento de la barrera viva de piñuela necesita de mano de obra al inicio de la época lluviosa.

***Contribución al control de erosión:***

La eficiencia del control de erosión depende de la distancia entre barreras (menos distancia en pendientes fuertes y suelos con poca infiltración), de la densidad de la barrera (vacíos en la barrera pueden aumentar la erosión en canalillos). Reduce la escorrentía y mejora la infiltración del agua.

Otros beneficios de la piñuela:

- Sirve para realizar productos alimenticios, como el atol de piñuela.
- Tiene propiedades medicinales, eficaz contra enfermedades pulmonares o para la diabetes.

**5.3.1.4. ALTA FACTIBILIDAD PARA EL CAMBIO DEL USO DEL SUELO**

Esta zona está ubicada desde la cota 700 m.s.n.m. a 900 m.s.n.m., los criterios empelados para su designación fueron los siguientes:

- Posee pendientes menores de 30%
- Forma parte de la ruta de lahares presentes en la zona
- Asentamientos humanos

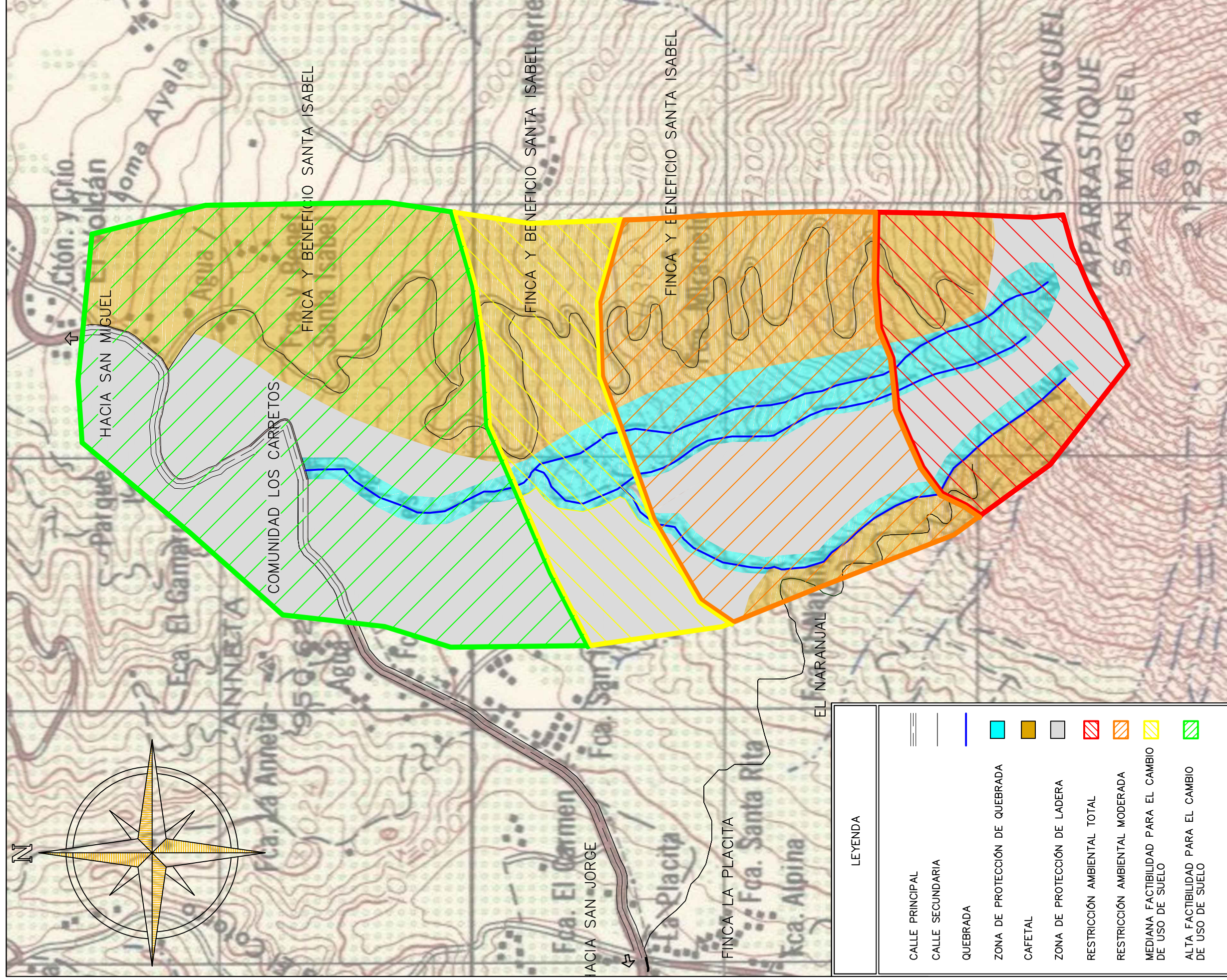
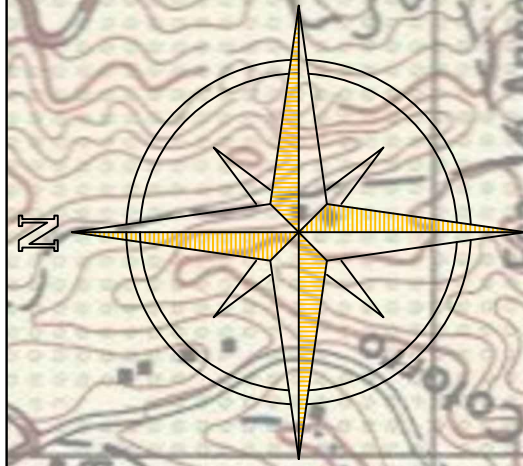
- Presencia de obras de protección
- Originalmente esta zona era un bosque cafetalero.

**Propuesta de conservación de los suelos para esta zona:**

- ✓ **Cafetal:** mantenimiento del bosque cafetalero que ya se encuentra en la zona, con el objetivo de frenar la erosión y tener un desarrollo de una agricultura sostenible que beneficie a la comunidad.
- ✓ **Zona de protección de quebrada:** para la protección de las quebradas se continuará empleando las barreras vivas: zacate vetiver, y se incluirá bambú
- ✓ **Zona de protección de la ladera:** Reforestación con árboles frutales y de sombra.

Los árboles de sombra recomendados para esta zona son:

- Conacaste
- Maquilishuat
- Flor Amarilla
- Nim
- Nacaspilo
- Carreto
- Pepeto
- Mango
- Aguacate



**LEYENDA**

	CALLE PRINCIPAL
	CALLE SECUNDARIA
	QUEBRADA
	ZONA DE PROTECCIÓN DE QUEBRADA
	CAFETAL
	ZONA DE PROTECCIÓN DE LADERA
	RESTRICCIÓN AMBIENTAL TOTAL
	RESTRICCIÓN AMBIENTAL MODERADA
	MEDIANA FACTIBILIDAD PARA EL CAMBIO DE USO DE SUELO
	ALTA FACTIBILIDAD PARA EL CAMBIO DE USO DE SUELO

PROYECTO: "CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS EN SECTOR DE COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL Y PROPUESTA DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN DE LADERAS"

CONTENIDO: FIGURA 5.17 – PLAN DE REORDENAMIENTO TERRITORIAL

UBICACIÓN: COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL

ASESOR: ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO

PRESENTAN: GONZÁLEZ CORNEJO, ERICK NOÉ  
PONCE LOBOS, FRANCISCO JAVIER  
ULLOA MONTOYA, EVA ISABEL

FECHA: NOVIEMBRE/2014  
ESCALA: 1:15,000

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

### 5.3.2. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DE CONSERVACIÓN DE USOS DE SUELO

El presupuesto ha sido elaborado para cada zona designada, en la propuesta de conservación de usos de suelo, en base a los costos obtenidos del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA) tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ Se reforestará el área de quebrada y el de ladera
- ✓ Trazo y estaquillado se realizará previo a todas las actividades de siembra
- ✓ Los árboles de sombra se sembrarán a una distancia promedio de 3.5 m
- ✓ Se incluye el costo de los fertilizantes
- ✓ Se considerarán tres fertilizaciones
- ✓ El mantenimiento propuesto es para tres años

#### ZONA RESTRICCIÓN AMBIENTAL TOTAL

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Costo por partida	Costo Total
<b>Medida de conservación de suelos en quebrada</b>						<b>\$12,194.99</b>
<b>1.0</b>	<b>Reforestación con Zacate Vetiver</b>	<b>45959.87</b>	<b>m</b>	<b>\$0.27</b>	<b>\$12,194.99</b>	
	Establecimiento					
	Material vegetativo (Semilla)	0.50	macollo	\$0.35	\$0.18	
	Trazado y estaquillado	0.003	D/H	\$3.43	\$0.01	
	Surcado	0.002	D/H	\$3.43	\$0.01	
	Separación de haces y siembra	0.013	D/H	\$3.43	\$0.04	
				Total:	<b>\$0.24</b>	
	Mantenimiento					
	Año 2					
	Primera poda	0.01	D/H	\$0.80	\$0.01	
	Segunda poda	0.01	D/H	\$0.80	\$0.01	
				Total:	<b>\$0.02</b>	
	Año 3					
	Primera poda	0.01	D/H	\$0.63	\$0.01	
	Segunda poda	0.01	D/H	\$0.63	\$0.01	
				Total:	<b>\$0.01</b>	



Medida de conservación de suelos en ladera						\$42,766.13
<b>1.0</b>	<b>Reforestación con Zacate Vetiver</b>	<b>48226.93</b>	<b>m</b>	<b>\$0.27</b>	<b>\$12,796.53</b>	
	Establecimiento					
	Material vegetativo	0.50	macollo	\$0.35	\$0.18	
	Trazado y estaquillado	0.003	D/H	\$3.43	\$0.01	
	Surcado	0.002	D/H	\$3.43	\$0.01	
	Separación de haces y siembra	0.013	D/H	\$3.43	\$0.04	
				Total:	<b>\$0.24</b>	
	Mantenimiento					
	Año 2					
	Primera poda	0.01	D/H	\$0.80	\$0.01	
	Segunda poda	0.01	D/H	\$0.80	\$0.01	
				Total:	<b>\$0.02</b>	
	Año 3					
	Primera poda	0.01	D/H	\$0.63	\$0.01	
	Segunda poda	0.01	D/H	\$0.63	\$0.01	
				Total:	<b>\$0.01</b>	
<b>2.0</b>	<b>Reforestación con Zacate Limón</b>	<b>20668.69</b>	<b>m</b>	<b>\$1.45</b>	<b>\$29,969.59</b>	
	Establecimiento					
	Material vegetativo	1.00	Kg	\$0.50	\$0.50	
	Transporte	0.01	Flete	\$25.00	\$0.25	
	Preparación del material	0.03	D/H	\$5.00	\$0.15	
	Siembra y fertilización	0.07	D/H	\$5.00	\$0.35	
				Total:	<b>\$1.25</b>	
	Mantenimiento					
	Año 2					
	Primera Fertilización	0.25	Kg	\$0.40	\$0.10	
				Total:	<b>\$0.10</b>	
	Año 3					
	Segunda fertilización	0.25	D/H	\$0.40	\$0.10	
				Total:	<b>\$0.10</b>	
Costo conservación de suelos en ladera						<b>\$42,766.13</b>
Costo conservación de suelos en quebrada						<b>\$12,194.99</b>
<b>COSTO TOTAL :</b>						<b>\$54,961.12</b>

**ZONA RESTRICCIÓN AMBIENTAL MODERADA**

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Costo por partida	Costo Total
<b>Medida de conservación de suelos en quebrada</b>						<b>\$91,621.86</b>
<b>1.0</b>	<b>Reforestación con Zacate Vetiver</b>	<b>43022.52</b>	<b>m</b>	<b>\$0.27</b>	<b>\$11,415.59</b>	
	Establecimiento					
	Material vegetativo	0.50	macollo	\$0.35	\$0.18	
	Trazado y estaquillado	0.003	D/H	\$3.43	\$0.01	
	Surcado	0.002	D/H	\$3.43	\$0.01	
	Separación de haces y siembra	0.013	D/H	\$3.43	\$0.04	
				Total:	<b>\$0.24</b>	
	Mantenimiento					
	Año 2					
	Primera poda	0.01	D/H	\$0.80	\$0.01	
	Segunda poda	0.01	D/H	\$0.80	\$0.01	
				Total:	<b>\$0.02</b>	
	Año 3					
	Primera poda	0.01	D/H	\$0.63	\$0.01	
	Segunda poda	0.01	D/H	\$0.63	\$0.01	
				Total:	<b>\$0.01</b>	
<b>2.0</b>	<b>Reforestación con Izote</b>	<b>18438.22</b>	<b>m</b>	<b>\$4.35</b>	<b>\$80,206.27</b>	
	Establecimiento					
	Material vegetativo (Izote)	6.000	Kg	\$0.60	\$3.60	
	Transporte	0.010	Flete	\$25.00	\$0.25	
	Preparación del material	0.010	D/H	\$5.00	\$0.05	
	Siembra y fertilización	0.05	D/H	\$5.00	\$0.25	
				Total:	<b>\$4.15</b>	
	Mantenimiento					
	Año 2					
	Primera Fertilización	0.25	Kg	\$0.40	\$0.10	
				Total:	<b>\$0.10</b>	
	Año 3					
	Segunda fertilización	0.25	D/H	\$0.40	\$0.10	
				Total:	<b>\$0.10</b>	

Medida de conservación de suelos en ladera						\$55,983.17
<b>1.0</b>	<b>Reforestación con Zacate Vetiver</b>	<b>37119.26</b>	<b>m</b>	<b>\$0.27</b>	<b>\$9,849.23</b>	
	Establecimiento					
	Material vegetativo (Semilla)	0.50	macollo	\$0.35	\$0.18	
	Trazado y estaquillado	0.003	D/H	\$3.43	\$0.01	
	Surcado	0.002	D/H	\$3.43	\$0.01	
	Separación de haces y siembra	0.013	D/H	\$3.43	\$0.04	
				Total:	<b>\$0.24</b>	
	Mantenimiento					
	Año 2					
	Primera poda	0.01	D/H	\$0.80	\$0.01	
	Segunda poda	0.01	D/H	\$0.80	\$0.01	
				Total:	<b>\$0.02</b>	
	Año 3					
	Primera poda	0.01	D/H	\$0.63	\$0.01	
	Segunda poda	0.01	D/H	\$0.63	\$0.01	
				Total:	<b>\$0.01</b>	
<b>2.0</b>	<b>Reforestación con Zacate Limón</b>	<b>7954.13</b>	<b>m</b>	<b>\$1.45</b>	<b>\$11,533.49</b>	
	Establecimiento					
	Material vegetativo (Semilla)	1.000	Kg	\$0.50	\$0.50	
	Transporte	0.01	Flete	\$25.00	\$0.25	
	Preparación del material	0.030	D/H	\$5.00	\$0.15	
	Siembra y fertilización	0.07	D/H	\$5.00	\$0.35	
				Total:	<b>\$1.25</b>	
	Mantenimiento					
	Año 2					
	Primera Fertilización	0.25	Kg	\$0.40	\$0.10	
				Total:	<b>\$0.10</b>	
	Año 3					
	Segunda fertilización	0.25	D/H	\$0.40	\$0.10	
				Total:	<b>\$0.10</b>	

<b>3.0</b>	<b>Reforestación con Izote</b>	<b>7954.13</b>	<b>m</b>	<b>\$4.35</b>	<b>\$34,600.46</b>	
	Establecimiento					
	Material vegetativo (Izote)	6.000	Kg	\$0.60	\$3.60	
	Transporte	0.010	Flete	\$25.00	\$0.25	
	Preparación del material	0.010	D/H	\$5.00	\$0.05	
	Siembra y fertilización	0.05	D/H	\$5.00	\$0.25	
				Total:	<b>\$4.15</b>	
	Mantenimiento					
	Año 2					
	Primera Fertilización	0.25	Kg	\$0.40	\$0.10	
				Total:	<b>\$0.10</b>	
	Año 3					
	Segunda fertilización	0.25	D/H	\$0.40	\$0.10	
				Total:	<b>\$0.10</b>	
Costo conservación de suelos en ladera						<b>\$55,983.17</b>
Costo conservación de suelos en quebrada						<b>\$91,621.86</b>
<b>COSTO TOTAL :</b>						<b>\$147,605.03</b>

#### ZONA DE MEDIANA FACTIBILIDAD PARA EL USO DE CAMBIO DE SUELO

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Costo por partida	Costo Total
<b>Medida de conservación de suelos en quebrada</b>						<b>\$3,688.24</b>
<b>1.0</b>	<b>Reforestación con Zacate Vetiver en siembras por hileras</b>	<b>2224.25</b>	<b>m</b>	<b>\$0.27</b>	<b>\$590.18</b>	
	Establecimiento					
	Material vegetativo (Semilla)	0.50	macollo	\$0.35	\$0.18	
	Trazado y estaquillado	0.003	D/H	\$3.43	\$0.01	
	Surcado	0.002	D/H	\$3.43	\$0.01	
	Separación de haces y siembra	0.013	D/H	\$3.43	\$0.04	
				Total:	<b>\$0.24</b>	
	Mantenimiento					
	Año 2					
	Primera poda	0.01	D/H	\$0.80	\$0.01	
	Segunda poda	0.01	D/H	\$0.80	\$0.01	
				Total:	<b>\$0.02</b>	

	Año 3					
	Primera poda	0.01	D/H	\$0.63	\$0.01	
	Segunda poda	0.01	D/H	\$0.63	\$0.01	
				Total:	<b>\$0.01</b>	
<b>2.0</b>	<b>Reforestación con bambú</b>	<b>953.25</b>	<b>m</b>	<b>\$3.25</b>	<b>\$3,098.06</b>	
	Establecimiento					
	Material vegetativo (bambú)	5.000	Kg	\$0.50	\$2.50	
	Transporte	0.010	Flete	\$25.00	\$0.25	
	Preparación del material	0.010	D/H	\$5.00	\$0.05	
	Siembra y fertilización	0.05	D/H	\$5.00	\$0.25	
				Total:	<b>\$3.05</b>	
	Mantenimiento					
	Año 2					
	Primera Fertilización	0.25	Kg	\$0.40	\$0.10	
				Total:	<b>\$0.10</b>	
	Año 3					
	Segunda fertilización	0.25	D/H	\$0.40	\$0.10	
				Total:	<b>\$0.10</b>	
<b>Medida de conservación de suelos en ladera</b>						<b>\$6,193.60</b>
<b>1.0</b>	<b>Reforestación con Zacate Vetiver en siembras por hileras</b>	<b>4289.46</b>	<b>m</b>	<b>\$0.27</b>	<b>\$1,138.17</b>	
	Establecimiento					
	Material vegetativo (Semilla)	0.50	macollo	\$0.35	\$0.18	
	Trazado y estaquillado	0.003	D/H	\$3.43	\$0.01	
	Surcado	0.002	D/H	\$3.43	\$0.01	
	Separación de haces y siembra	0.013	D/H	\$3.43	\$0.04	
				Total:	<b>\$0.24</b>	
	Mantenimiento					
	Año 2					
	Primera poda	0.01	D/H	\$0.80	\$0.01	
	Segunda poda	0.01	D/H	\$0.80	\$0.01	
				Total:	<b>\$0.02</b>	

	Año 3					
	Primera poda	0.01	D/H	\$0.63	\$0.01	
	Segunda poda	0.01	D/H	\$0.63	\$0.01	
				Total:	<b>\$0.01</b>	
<b>2.0</b>	<b>Reforestación con Zacate Limón</b>	<b>919.17</b>	<b>m</b>	<b>\$1.45</b>	<b>\$1,332.80</b>	
	Establecimiento					
	Material vegetativo (Semilla)	1.000	Kg	\$0.50	\$0.50	
	Transporte	0.01	Flete	\$25.00	\$0.25	
	Preparación del material	0.030	D/H	\$5.00	\$0.15	
	Siembra y fertilización	0.07	D/H	\$5.00	\$0.35	
				Total:	<b>\$1.25</b>	
	Mantenimiento					
	Año 2					
	Primera Fertilización	0.25	Kg	\$0.40	\$0.10	
				Total:	<b>\$0.10</b>	
	Año 3					
	Segunda fertilización	0.25	D/H	\$0.40	\$0.10	
				Total:	<b>\$0.10</b>	
<b>3.0</b>	<b>Reforestación con piñuela</b>	<b>919.17</b>	<b>m</b>	<b>\$4.05</b>	<b>\$3,722.64</b>	
	Establecimiento					
	Material vegetativo (piñuela)	6.000	Kg	\$0.55	\$3.30	
	Transporte	0.01	Flete	\$25.00	\$0.25	
	Preparación del material	0.010	D/H	\$5.00	\$0.05	
	Siembra y fertilización	0.05	D/H	\$5.00	\$0.25	
				Total:	<b>\$3.85</b>	
	Mantenimiento					
	Año 2					
	Primera Fertilización	0.25	Kg	\$0.40	\$0.10	
				Total:	<b>\$0.10</b>	
	Año 3					
	Segunda fertilización	0.25	D/H	\$0.40	\$0.10	
				Total:	<b>\$0.10</b>	

Costo conservación de suelos en ladera	<b>\$6,193.60</b>
Costo conservación de suelos en quebrada	<b>\$3,688.24</b>
<b>COSTO TOTAL :</b>	<b>\$9,881.85</b>

**ZONA ALTA FACTIBILIDAD PARA EL CAMBIO DE USO DE SUELOS**

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Costo por partida	Costo Total
<b>Medida de conservación de suelos en quebrada</b>						<b>\$1,669.79</b>
<b>1.0</b>	<b>Reforestación con Zacate Vetiver en siembras por hileras</b>	<b>475.00</b>	<b>m</b>	<b>\$0.27</b>	<b>\$126.04</b>	
	Establecimiento					
	Material vegetativo (Semilla)	0.50	macollo	\$0.35	\$0.18	
	Trazado y estaquillado	0.003	D/H	\$3.43	\$0.01	
	Surcado	0.002	D/H	\$3.43	\$0.01	
	Separación de haces y siembra	0.013	D/H	\$3.43	\$0.04	
				Total:	<b>\$0.24</b>	
	Mantenimiento					
	Año 2					
	Primera poda	0.01	D/H	\$0.80	\$0.01	
	Segunda poda	0.01	D/H	\$0.80	\$0.01	
				Total:	<b>\$0.02</b>	
	Año 3					
	Primera poda	0.01	D/H	\$0.63	\$0.01	
	Segunda poda	0.01	D/H	\$0.63	\$0.01	
				Total:	<b>\$0.01</b>	
<b>2.0</b>	<b>Reforestación con Bambú</b>	<b>475.0</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>\$3.25</b>	<b>\$1,543.75</b>	
	Establecimiento					
	Material vegetativo (bambú)	5.000	Kg	\$0.50	\$2.50	
	Transporte	0.010	Flete	\$25.00	\$0.25	
	Preparación del material	0.010	D/H	\$5.00	\$0.05	
	Siembra y fertilización	0.05	D/H	\$5.00	\$0.25	
				Total:	<b>\$3.05</b>	
	Mantenimiento					

	Año 2					
	Primera Fertilización	0.25	Kg	\$0.40	\$0.10	
				Total:	<b>\$0.10</b>	
	Año 3					
	Segunda fertilización	0.25	D/H	\$0.40	\$0.10	
				Total:	<b>\$0.10</b>	
<b>Medida de conservación de suelos en ladera</b>						<b>\$103,103.13</b>
<b>1.0</b>	<b>Reforestación con Arboles de sombra y frutales</b>	<b>793101.0</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>\$0.00</b>	<b>\$0.13</b>	
	Establecimiento					
	Trazado y estaquillado	0.0010	D/H	\$8.00	\$0.01	
	Ronda contra incendios	0.0010	D/H	\$8.00	\$0.01	
	Ahoyado	0.0100	D/H	\$8.00	\$0.08	
	Siembra y fertilización	0.0014	D/H	\$8.00	\$0.01	
				Total:	<b>\$0.11</b>	
	Mantenimiento					
	primera fertilización (año 2)	0.000	D/H	\$8.00	\$0.01	
	Tercera fertilización (año 3)	0.002	D/H	\$8.00	\$0.01	
				Total:	<b>\$0.02</b>	
Costo conservación de suelos en ladera						<b>\$103,103.13</b>
Costo conservación de suelos en quebrada						<b>\$1,669.79</b>
<b>COSTO TOTAL :</b>						<b>\$104,772.92</b>



En base a la información anterior se presenta un resumen general del presupuesto para la propuesta de conservación de uso de suelo.

Tabla 5.5 Presupuesto de conservación de suelo.

### RESUMEN DE PRESUPUESTO DE CONSERVACIÓN DE SUELOS

Descripción	Área (Mz)	Año 1 Siembra, fertilización y mantenimiento	Año 2 Mantenimiento	Año 3 Mantenimiento	Costo Total
Zona restricción ambiental total	72.82	\$48,133.64	\$3,573.86	\$3,253.62	<b>\$54,961.12</b>
Zona restricción ambiental moderada	117.99	\$138,443.68	\$4,716.92	\$4,444.43	<b>\$147,605.03</b>
Zona de mediana factibilidad para el uso de cambio de suelo	52.53	\$9,137.24	\$383.38	\$361.23	<b>\$9,881.85</b>
Zona alta factibilidad para el cambio de uso de suelos	200.41	\$88,802.31	\$7,986.11	\$7,984.50	<b>\$104,772.92</b>
<b>MONTO TOTAL</b>					<b>\$317,220.91</b>

Los costos presentados en la tabla anterior sólo consideran costos directos de ejecución.

## **5.4. MEDIDAS PROPUESTAS PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DEL 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 (Varnes 1984).

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 antrópicos, analizados desde el punto de vista de las consecuencias resultantes en el caso de formación o progreso de procesos de deslizamiento.

En base a la investigación realizada y como propuesta para la prevención y control del riesgo se presenta una ficha técnica que tiene el objetivo de ser un instrumento de medición de riesgo con el cual se puedan evitar daños tanto materiales como de pérdidas de vidas humanas derivadas de la ocurrencia de un deslizamiento en un talud o ladera.

### **5.4.1. FICHA TÉCNICA PARA LA EVALUACIÓN DE MOVIMIENTOS DE LADERA**

Partiendo de la teoría que dice que el riesgo es igual a la amenaza por la vulnerabilidad; se ha determinado, en los deslizamientos de laderas, que la amenaza es la probabilidad o grado de ocurrencia de un deslizamiento de tierra; y la vulnerabilidad, es la susceptibilidad que tiene determinado sector para ser afectado por dicha amenaza.

En la actualidad existen mapas de susceptibilidad de deslizamientos en el país, los cuales identifican la amenaza latente de que exista un deslizamiento; sin embargo, la medición de la amenaza por sí sola es insuficiente debido a que también se debe tomar en cuenta el

factor de vulnerabilidad para tener mapas que representen más detalladamente los niveles de riesgo por deslizamiento que existen el país o determinada zona.

El objetivo de la ficha es determinar el nivel de riesgo por deslizamiento, mediante la recopilación de información de manera rápida y sencilla de las diferentes características o factores que se deben de tomar en cuenta a la hora de analizar los movimientos de ladera.

La ficha técnica se divide en dos secciones:

**Sección cualitativa:**

En ella se realiza la descripción de las características del fenómeno con el fin de comprender de mejor manera el comportamiento de los deslizamientos.

**Sección cuantitativa:**

En esta sección se determina el grado de riesgo por deslizamiento que presenta la ladera mediante la evaluación de la amenaza y la vulnerabilidad existente en la zona.

- La evaluación de la amenaza determina, mediante una clasificación numérica, el grado de inestabilidad que hay en la ladera; por lo tanto demuestra lo propensa que está para sufrir un deslizamiento. Entre los parámetros definidos para la determinación del grado de amenaza se pueden mencionar las pendientes de la ladera, el tipo de material que la conforma, la vegetación presente en ella y el uso que se da al suelo.
- La evaluación de la vulnerabilidad tiene tres aspectos importantes:
  - Vulnerabilidad física: tiene como objetivo cuidar la integridad física de las personas. En ella se determina la cantidad de población que puede ser afectada por un deslizamiento de tierra; el tipo de vivienda que ocupan los habitantes; el porcentaje de población que tiene acceso a albergues y la accesibilidad al lugar del deslizamiento en caso de que ocurra un evento de desastre.

- Vulnerabilidad social: se identifican las diferentes instituciones presentes en la zona; así como el nivel de organización que tiene la comunidad y el tipo de servicio de salud que reciben los afectados.
- Vulnerabilidad económica: tiene que ver con la capacidad de recuperación de los afectados si se llegara a presentar un evento desastroso. Se toman aspectos importantes como el ingreso per cápita en la zona; la tasa de desempleo y el acceso a servicios públicos que tienen los habitantes.

Consideraciones respecto a la recolección de información a través de la ficha técnica.

- ✓ Se están evaluando movimientos individuales, es decir, con unas dimensiones determinadas, que generan un volumen específico y donde el material movilizado se desplazó al mismo tiempo.
- ✓ Para el relleno de la ficha es importante que la información sea lo más verídica y objetiva posible.
- ✓ Conjuntamente con las fichas es recomendable salir a campo con un mapa topográfico (del máximo detalle posible), donde poder ir situando los movimientos y la superficie de afectación.
- ✓ Para que el formulario sea admitido se debe completar totalmente y satisfacer los requisitos adicionales solicitados.

Este instrumento también permitirá a las diferentes instituciones que se dedican a la prevención y mitigación de desastres tener un indicador básico sobre la ocurrencia de un posible movimiento de masa en un periodo de tiempo determinado, ya que el llenado de esta ficha puede ser programado de manera de analizar las características antes del inicio del invierno y posterior a la finalización del mismo, lo que permitirá tener un registro de la variación del riesgo en una zona determinada. Este registro se convertiría en una base de datos a través de la cual se elaborarán los mapas de riesgo; permitirá, también, establecer los lineamientos y procedimientos para elaborar, en forma ordenada y eficiente, los informes de estimación de riesgo; además de evaluar el funcionamiento de las obras de mitigación existentes en base a la disminución o no del riesgo.

Debido a la facilidad con que se puede llenar esta ficha, se podrían implementar campañas de capacitación, donde dichas instituciones pueden enseñar a los jefes de las comunidades la aplicación de la ficha y de esta manera facilitar la actualización de mapas de riesgos, disminuyendo el personal de la institución necesario para lograrlo e incluyendo a las comunidades en la resolución de sus problemas.

**5.4.1.1. EJEMPLO DE LA APLICACIÓN DE LA FICHA TÉCNICA DE EVALUACIÓN DE RIESGO POR MOVIMIENTOS DE LADERA EN: LA LADERA NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE**

El objetivo de realizar un ejemplo de la ficha de evaluación de riesgo por deslizamiento es para reflejar la facilidad con que puede ser llenada. También para comprobar si los resultados obtenidos a partir de la ficha concuerdan con la caracterización previamente hecha en este documento.

**HOJA DE EVALUACIÓN DE MOVIMIENTOS DE LADERA**

Fecha 20/02/2014	Hora 9:00 a.m.	Número de ficha	1
Responsable de la inspección	Grupo de Tesis		
Institución/organización	Universidad de El Salvador		
Proyecto	Tesis de graduación		

**1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

Coordenadas

X1 =	Y1 =	Z1 =
X2 =	Y2 =	Z2 =
X3 =	Y3 =	Z3 =

**2. ZONA DEL LUGAR EVALUADO**

Urbano ( )	Urbano consolidado ( )	Urbano no consolidado ( )
Rural aledaño a zonas urbanas ( )	Rural ( X )	Rural no consolidado ( )

**3. TIPO DE MOVIMIENTO:**

Deslizamiento ( )

- Desprendimiento o vuelco ( )  
 Flujo ( X )  
 Complejo ( )

#### 4. GEOLOGÍA GENERAL

Erosión:

- Perceptible ( X ) No perceptible ( )  
 En las pendientes de la ladera ( X )  
 En los márgenes de la ladera ( X )

Tipo de discontinuidades:

- Fallas ( ) Grietas ( X )

#### 5. MORFOLOGÍA

Tipo de relieve:

- Plana (pendiente de 0% a 2%) ( ) Ondulado (pendiente de 3% a 12%) ( )  
 Alomado a quebrado (pendiente de 13% a 35%) ( )  
 Accidentado (pendiente de 36% a 70%) ( )  
 Muy accidentado (pendiente mayor de 70%) ( X )

Descripción

Uso del suelo:

- Agricultura ( X ) Ganadería ( ) Otros

Forma de la ladera:

- Cóncava ( X ) Convexa ( ) Plana ( ) Combinada ( )

#### 6. HIDROLOGÍA

Humedad:

- Seco ( X ) Húmedo ( ) Mojado ( ) Muy mojado ( )

Agua superficial:

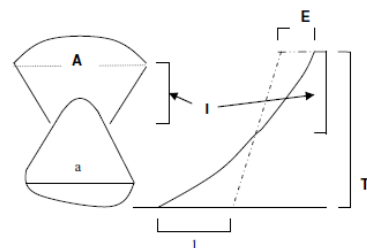
- Quebradas ( X ) Riachuelos ( ) Nacimientos ( )

#### 7. CONDICIONES TOPOGRÁFICAS Y GEOMÉTRICAS

Altura de la corona \_\_\_\_\_ (msnm) Altura del talud (T) \_\_\_\_\_ (m)

Medidas de la superficie de ruptura:

- Ancho (A) \_\_\_\_\_ (m)  
 Largo (L) \_\_\_\_\_ (m)  
 Espesor (E) \_\_\_\_\_ (m)  
 Volumen estimado (AxLxE) \_\_\_\_\_ (m<sup>3</sup>)



#### 8. MATERIAL DESLIZADO

- Suelos ( X )  
 Rocas ( X )  
 Relleno ( )  
 Basura y ripio ( )  
 Árboles ( X )

Otros \_\_\_\_\_

Superficie de afectación: Ancho(a) \_\_\_\_\_ (m) Largo (l) \_\_\_\_\_ (m)

Área (a\*l) \_\_\_\_\_ (m2)

Ocupando cauce de río o quebrada ( **X** )

Permanece: (SI) (NO)

Viabilidad de movilizar el material (palas, máquina...) \_\_\_\_\_

#### 9. ESTADO DE ACTIVIDAD

Activo ( **X** )

Reactivo ( )

Suspendido ( )

Inactivo ( )

Reposo ( )

Estabilizado ( )

#### 10. GRADO DE ESTABILIDAD

Activo ( **X** )

Equilibrio estricto ( )

Estable ( )

Equilibrio crítico ( )

Latente ( )

#### 11. VELOCIDAD DEL MOVIMIENTO\*

Extremadamente rápido ( **X** )

Muy rápido ( )

Rápido ( )

Moderado ( )

Lento ( )

Extremadamente lento ( )

#### 12. FACTORES GENERADORES\*

Factores Naturales:

Escorrentía Superficial ( **X** )

Lluvias ( **X** )

Sismos ( )

Otros \_\_\_\_\_

Factores Antrópicos:

Cortes de caminos y/o construcción ( )

Drenajes ( )

Acumulación de sobrecargas ( )

Comentarios \_\_\_\_\_

#### 13. EVALUACIÓN DE DAÑOS (poner la cantidad en los casos que se conozca el dato)

Carreteras/caminos ( **X** )

Viviendas ( **X** )

Acueductos ( )

Tendido eléctrico ( )

Personas heridas Hom ( ) Muj ( )

Personas fallecidas Hom ( ) Muj ( )

Cultivos ( **X** )

Otros \_\_\_\_\_

Comentarios \_\_\_\_\_

#### 14. ELEMENTOS EXPUESTOS (poner la cantidad en los casos que se conozca el dato)

Carreteras/caminos ( **X** )

Viviendas ( **X** )

Acueductos ( )

Tendido eléctrico ( **X** )

Personas heridas Hom ( ) Muj ( )

Cultivos ( **X** )

Otros \_\_\_\_\_

Comentarios \_\_\_\_\_

15. MEDIDAS DE PRECAUCIÓN REALIZADAS

Evacuación de la zona afectada ( **X** ) Desalojo del material deslizado ( **X** )  
Cubrir el talud con plástico ( ) Señales de precaución ( )  
Otros \_\_\_\_\_

16. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN\*

Conformación del talud ( ) Construcción de muros/gaviones ( **X** )  
Reforestación ( **X** ) Construcción de drenajes ( )  
Instalación de SAT ( **X** )  
Otros \_\_\_\_\_

17. ANTECEDENTES

Ha ocurrido antes otro deslizamiento en el mismo lugar o cerca del mismo ( **X** )

En el caso que sea cerca, ¿a qué distancia? \_\_\_\_\_ (m)

18. ESTIMACIÓN DE AMENAZA DE DESLIZAMIENTO DE LADERAS

18.1 Condiciones topográficas

Factor	Categoría	Valoración	
Pendiente del talud o ladera	Más de 45°	2.00	2.0
	35° a 45°	1.60	
	25° a 35°	1.20	
	15° a 25°	0.80	
	Menos de 15°	0.40	
Altura del talud o ladera	Más de 200 m	1.50	1.5
	100 a 200 m	1.25	
	50 a 100 m	0.75	
	Menos de 50 m	0.50	

18.2 Condiciones históricas

Antecedentes de deslizamientos	Sí, incluso con fechas	1.00	1.0
	Sí, sin tener en cuenta detalles	0.60	
	No se sabe	0.30	

18.3 Factores geotécnicos

Tipo de suelos o rocas	Suelos granulares	1.50	1.5
	Rocas metamórficas	1.20	
	Suelos arcillosos	0.90	
	Rocas sedimentarias	0.60	



	Rocas ígneas	0.30	
--	--------------	------	--

#### 18.4 Factores geomorfológicos

Evidencia de grietas en laderas contiguas	Grandes volúmenes faltantes	1.00	1.0
	Volúmenes moderados	0.50	
	Inexistentes	0.00	
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	0.50	0.0
	Nivel freático inexistente	0.00	
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua	0.50	

#### 18.5 Factores ambientales

Tipo de cobertura	Cultivos anuales	1.00	0.67
	Pastos	0.67	
	Bosques	0.33	
Uso de suelos	Zona urbana	1.50	1.0
	Área deforestada	1.50	
	Vegetación moderada	1.00	
	Vegetación intensa	0.50	
		Sumatoria	8.67

#### 18.6 ESTIMACIÓN DEL GRADO DE LA AMENAZA DE DESLIZAMIENTO DE LA LADERA

Se puede observar que el valor obtenido del análisis de la amenaza es mayor que 7 por lo tanto se puede clasificar esta amenaza como **súper crítica**.

#### 19. ESTIMACIÓN DE VULNERABILIDAD POR DESLIZAMIENTO DE LADERAS

##### 19.1 Vulnerabilidad física (población)

Factor	Categoría	Valoración	
Número de familias afectadas	Más de 8	1.50	1.5
	6-7	1.15	
	5-6	0.75	
	3-4	0.40	
	0-2	0.00	
Tipo de construcción de viviendas (mayor porcentaje)	Bahareque	1.00	1
	Tabla	0.75	
	Adobe	0.50	
	Ladrillo	0.25	
	Bloque	0.00	
Porcentaje de población con acceso a albergues en caso de emergencia	De 0% a 19.99%	0.50	0.5
	De 20% a 39.99%	0.35	
	De 40% a 59.99%	0.25	
	De 60% a 79.99%	0.15	

	De 80% a 100%	0.00	
Vías de acceso hacia la comunidad	Difícil acceso todo el año	1.00	0.25
	Acceso durante cinco meses al año	0.75	
	Acceso durante ocho meses al año	0.50	
	Acceso durante diez meses al año	0.25	
	Fácil acceso todo el año	0.00	

### 19.2 Vulnerabilidad social

Factor	Categoría	Valoración	
Organización comunal (cantidad de organizaciones)	0	1.00	1
	1	0.75	
	2	0.50	
	3	0.25	
	4 o más	0.00	

Instituciones presentes en la zona	0	0.50	0.25
	1	0.35	
	2	0.25	
	3	0.15	
	4 o más	0.00	
Ubicación de servicio de salud	Más de 8 km	1.00	0.25
	6 km -8 km	0.75	
	4 km- 6 km	0.50	
	2 km- 4 km	0.25	
	Menos de 2 km	0.00	
Tipo de servicio de salud	Ninguno	0.50	0.35
	Casa de salud comunitaria	0.35	
	Equipo comunitario de salud (ECOS)	0.25	
	Unidad comunitaria de salud familiar	0.15	
	Hospital	0.00	

### 19.3 Vulnerabilidad económica

Factor	Categoría	Valoración	
Desarrollo económico (Ingreso per cápita)	Menos de \$200	1.00	1
	De \$200 a \$300	0.75	

	De \$300 a \$400	0.50	
	De \$400 a \$600	0.25	
	Más de \$600	0.00	
Desempleo	Más de 20%	1.00	1
	De 15% a 19.99%	0.75	
	De 10% a 14.99%	0.50	
	De 5% a 9.99%	0.25	
	Menos de 5%	0.00	
Acceso a servicios públicos	Menos de 20%	1.00	1
	De 20% a 39.99%	0.75	
	De 40% a 59.99%	0.50	
	De 60% a 79.99%	0.25	
	Más de 80%	0.00	

Sumatoria	8.10
-----------	------

#### 19.4 ESTIMACIÓN DEL GRADO DE LA VULNERABILIDAD POR DESLIZAMIENTO DE LA LADERA

Se puede observar que el valor obtenido del análisis de vulnerabilidad es mayor que 7 por lo tanto se puede clasificar la vulnerabilidad como **súper crítica**.

#### 20. ESTIMACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE LADERAS

Se considera que el riesgo es la multiplicación de la amenaza por la vulnerabilidad

Sumatoria de calificación de amenaza	8.67
Sumatoria de calificación de vulnerabilidad	8.10

Riesgo= amenaza * vulnerabilidad	70.23
----------------------------------	-------

Grado	Descripción	Suma de las calificaciones	Color indicador
1	Riesgo súper crítico	Más de 70	

El riesgo por deslizamiento en la ladera noroeste del volcán Chaparrastique es **súper crítico**.

## 21. CROQUIS.



Figura 5.18 Croquis de ubicación del área de estudio.

El resultado de la ficha técnica de evaluación de riesgo por deslizamiento, realizada en la ladera noroeste del volcán Chaparrastique, demuestra que el grado de riesgo de que suceda un deslizamiento en la zona es súper crítico; y tanto el grado de amenaza como el de vulnerabilidad también son súper críticos.

Se puede apreciar que no hay contradicción entre el análisis de estabilidad y el grado de amenaza que presenta la ficha; por lo que se concluye que la ficha cumple con uno de sus objetivos de determinar el nivel de amenaza por deslizamiento en las laderas.

# **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 6.1. CONCLUSIONES

Una vez analizadas todas las condicionantes y características de la zona de trabajo a lo largo del tiempo que ha durado el presente estudio, se han alcanzado las siguientes conclusiones:

- ✓ Las propuestas que se presentan en esta investigación (muro derivador de flujo, canaleta trapezoidal, plan de reordenamiento territorial y de conservación de suelos) son de carácter paliativo a la ocurrencia de un lahar de escombros.
- ✓ En base al levantamiento topográfico realizado, se determinó que el terreno es muy accidentado y posee pendientes muy pronunciadas, las cuales son factores condicionantes en la inestabilidad de la ladera.
- ✓ A partir de las pruebas in situ y ensayos de laboratorio de suelos, se determinó que los suelos son de tipo arenosos con cohesión cercana a 0 kg/cm<sup>2</sup>, lo que significa que tiene poca o nada resistencia al cortante y es sensible a deslizamientos, el ángulo de fricción interna varía entre 33° y 38° y con plasticidad nula; por lo que estas propiedades físicas y mecánicas son factores condicionantes de los movimientos de ladera. Los materiales que conforman la ladera del volcán Chaparrastique constituyen un tipo de material fácilmente erosionable y sin compactación, que en presencia de agua genera un escenario de deslizamiento lo cual se comprueba en este trabajo.
- ✓ Se determinó mediante el análisis de estabilidad que desde la cota 1437 m.s.n.m. hasta la cota 1970 m.s.n.m., el factor de seguridad es menor al valor mínimo establecido en la Norma Técnica para Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes, tanto para las condiciones de humedad normal como para las condiciones cercanas a la saturación, por lo que se clasifica como zona inestable de la ladera noroeste del volcán Chaparrastique.
- ✓ En función del análisis hidrológico, se determinó que el caudal máximo para un periodo de retorno de 10 años, sobrepasa la capacidad hidráulica de las secciones

existentes, y a partir de este dato se diseñaron obras civiles (muro derivador de flujo y canaleta trapezoidal) para aumentar la capacidad hidráulica de dichas secciones.

- ✓ Las obras diseñadas fueron: un muro derivador de flujo, localizado en el punto de interés 2, con el fin de controlar y disminuir caudales y una canaleta trapezoidal, cuya función será la de desviar los escombros que descienden hasta un lugar más seguro para evitar que se obstaculicen las vías de transporte.
- ✓ Se diseñó un plan de reordenamiento territorial y de uso de suelos para el área de estudio, el cual mediante su implementación se pretende la estabilización de la ladera, mitigación de la amenaza, reducción de la vulnerabilidad y disminución del riesgo.
- ✓ Se elaboró una ficha técnica que sirve para determinar el grado de riesgo de movimiento de ladera; la cual puede servir como un instrumento estadístico a las autoridades competentes para elaborar mapas de riesgo y monitorear la susceptibilidad de movimiento de ladera en distintas partes del país.
- ✓ Se concluye que para reducir los efectos por inestabilidad de laderas, es necesario poner en práctica los planes de evacuación y salvamento previamente diseñados para cada localidad, la detección oportuna y la toma inmediata de decisiones por parte de las autoridades correspondientes, especialistas y público afectado en general,

## **6.2. RECOMENDACIONES**

A partir de las conclusiones y resultados obtenidos a lo largo de este estudio, se han realizado una serie de recomendaciones con el fin de mitigar los riesgos identificados, mejorar la calidad de vida de los habitantes y conservar los recursos naturales existentes en el área de estudio.

- ✓ Realizar un análisis completo de estabilidad en el resto de las laderas del volcán Chaparrastique.
- ✓ Evitar la deforestación del volcán y, de ser posible, fomentar la siembra de árboles y plantas de la región para reducir la erosión y aumentar la estabilidad de los suelos.
- ✓ Realizar un mantenimiento periódico de las obras ya ejecutadas (muro 1, muro 2 y muro 3), para cumplir con la función para la cual fueron construidos.
- ✓ Impedir el desarrollo de asentamientos humanos, en las zonas establecidas como críticas a la ocurrencia de un deslizamiento.
- ✓ Se recomienda la limpieza periódica de los cauces naturales de las quebradas para evitar la obstrucción de las mismas.
- ✓ Capacitar a la población afectada para mejorar su capacidad de respuesta ante un posible deslizamiento de ladera.
- ✓ Se recomienda la realización de un estudio socio-económico a los habitantes que residen en la zona afectada por deslizamientos previo a su reubicación y en base a los resultados de dicho estudio, establecer los lugares adecuados para su traslado.
- ✓ Se recomienda la realización de campañas de sensibilización y divulgación, dirigidas a la comunidad Los Carretos, sobre el riesgo existente.
- ✓ Es necesario recalcar que las condiciones del sitio cambian constantemente debido a las lluvias, microsismos, actividad eruptiva, etc., por lo que se recomienda la realización de estudios previos a la ejecución de las obras propuestas; de igual manera se hace énfasis que su construcción se realice en época seca, para evitar dificultades operativas.
- ✓ Se recomienda, que previo a la construcción de las obras civiles y la aplicación del Plan de Conservación de Suelos, se actualicen los costos unitarios debido a las variaciones que presenta el mercado a medida transcurre el tiempo.



## 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.

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

**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.

**Aluvi3n:** 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.

**Amenaza:** Peligro latente que representa la posible manifestaci3n dentro de un per3odo de tiempo y en un territorio particular de un fen3meno de origen natural, socio-natural o antr3pogenico, que puede producir efectos adversos en las personas, la producci3n, 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 especifico 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 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.

**Ángulo de fricción interna:** es el ángulo cuya tangente es la relación entre la fuerza que resiste el deslizamiento, a lo largo de un plano, y la fuerza normal "p" aplicada a dicho

plano. Los valores de este ángulo llamada "ángulo de fricción interna"  $f$ , varían de prácticamente  $0^\circ$  para arcillas plásticas, cuya consistencia este próxima a su límite líquido, hasta  $45^\circ$  o más, para gravas y arenas secas, compactas y de partículas angulares. Generalmente, el ángulo  $f$  para arenas es alrededor de  $30^\circ$ .

**Apical:** Se aplica a la zona de cúspide o de vértice.

**Canal abierto:** es un conducto en el cual el agua fluye con una superficie libre. De acuerdo con su origen un canal puede ser natural o artificial.

**Cohesión:** Es la atracción entre partículas, originada por las fuerzas moleculares y las películas de agua. Por lo tanto, la cohesión de un suelo variará si cambia su contenido de humedad. La cohesión se mide  $\text{kg/cm}^2$ . Los suelos arcillosos tienen cohesión alta de  $0,25 \text{ kg/cm}^2$  a  $1.5 \text{ kg/cm}^2$ , o más. Los suelos limosos tienen muy poca, y en las arenas la cohesión es prácticamente nula.

**Corte Directo:** es una prueba donde se busca conseguir la rotura de una muestra según un plano predeterminado, con el fin de poder conocer experimentalmente los parámetros de cohesión y ángulo de rozamiento que nos definen la resistencia del suelo granular.

**Deslizamiento:** es un tipo de corrimiento o movimiento de masa de tierra, provocado por la inestabilidad de un talud. Se produce cuando una gran masa de terreno se convierte en *zona inestable* y desliza con respecto a una *zona estable*, a través de una superficie o *franja de terreno pequeño espesor*. Los deslizamientos se producen cuando en la franja se alcanza la tensión tangencial máxima en todos sus puntos.

**Detritos:** son residuos, generalmente sólidos permanentes, que provienen de la descomposición de fuentes orgánicas (vegetales y animales). Son los productos de la erosión, el transporte, la meteorización —química y física— y de los procesos diagenéticos (procesos geológicos externos). El material detrítico se acumula en zonas de topografía deprimida llamadas cuencas sedimentarias.

**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.

**Escorrentía:** es la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida.

**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.

**Factor de Seguridad (FS):** es empleado por los Ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña.

**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.

**Hidrograma Unitario Triangular:** El Hidrograma es la representación gráfica, que muestra el cambio en el caudal, o flujo, por unidad de escorrentía a lo largo del tiempo; en otras palabras, muestra cómo la adición de una unidad de escorrentía influirá en el caudal de un río con el tiempo. El hidrograma unitario es una herramienta útil en el proceso de predecir el impacto de la precipitación sobre el caudal.

**Hidrología:** es una rama de las ciencias de la Tierra que estudia las propiedades físicas, químicas y mecánicas del agua continental y marítima, su distribución y circulación en la superficie de la Tierra, en la corteza terrestre y en la atmósfera. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares.

**Lahar:** Los lahares son flujos de materiales volcánicos generados cuando el agua meteórica, la de escorrentía superficial, la del deshielo parcial de glaciares o fusión de nieve, o la acumulada en algunos cráteres formando lagos volcánicos, se mezcla con estos

materiales y se desplaza transportándolos en masa por los barrancos y cauces fluviales que tienen sus cabeceras en las laderas del volcán.

**Límites de Atterberg:** se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, aunque su comportamiento varía a lo largo del tiempo. Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir cuatro estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido, cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico, y finalmente líquido.

**Plan de Ordenamiento Territorial (POT):** es en el ámbito del urbanismo, una herramienta técnica que poseen los municipios para planificar y ordenar su territorio.<sup>1</sup> Tiene como objetivo integrar la planificación física y socioeconómica, así como el respeto al medio ambiente: estos documentos pueden incluir estudios sobre temas como la población, las etnias, el nivel educativo, así como los lugares donde se presentan fenómenos meteorológicos y tectónicos como lluvias, sequías y derrumbes. Estableciéndose como un instrumento que debe formar parte de las políticas de estado, con el fin de propiciar desarrollos sostenibles, contribuyendo a que los gobiernos orienten la regulación y promoción de ubicación y desarrollo de los asentamientos humanos.

**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 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.

**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.

**Sistemas de Alerta Temprana (SAT):** son un conjunto de procedimientos e instrumentos, a través de los cuales se monitorea una amenaza o evento adverso (natural o antrópico) de carácter previsible, se recolectan y procesan datos e información, ofreciendo pronósticos o predicciones temporales sobre su acción y posibles efectos. Millones de personas en todo el mundo salvan sus vidas y sus medios de subsistencia gracias a la implementación de estos sistemas.

**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.

**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.

## BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Braja M. Das. *Principios de ingeniería de cimentaciones*  
Thomson Editores, S.A. de C.V. Cuarta Edición. Sacramento, California 2001.
- ✓ Ceprode, *Seguimiento Proyecto II Plan DIPECHO “Vives cerca de un volcán”*  
El Salvador 2012
- ✓ Crespo Villalaz, Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*  
Editorial Limusa. México, 2004.
- ✓ Geólogos del Mundo. *Caracterización de amenazas geológicas en la ladera sur-occidental del volcán Chaparrastique*  
El Salvador. 2004.
- ✓ Geólogos del Mundo. *Estudio de Caracterización de Amenaza por Lahares en el Volcán de San Miguel*  
El Salvador. Proyecto DIPECHO II 2001.
- ✓ GTZ. (Cooperación Técnica Alemana, SV). *Guía para la gestión local de riesgo por deslizamiento. San Salvador, El Salvador, C.A.*  
2° edición. El Salvador. 2003.
- ✓ Jiménez Francisco. *Manejo de cuencas hidrográficas.*  
Turrialba, Costa Rica. 2000.
- ✓ Juárez Badillo, Eulalio. *Mecánica de los suelos, Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de suelos*  
Tomo II. Editorial Limusa. México. 2004.
- ✓ Juárez Badillo, Eulalio. *Mecánica de Suelos, Fundamento de la mecánica de suelos*  
Tomo 1. Editorial Limusa. México. 2005.
- ✓ Ministerio de Obras Públicas (MOP). *Norma Técnica para el Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes*  
El Salvador. 1994.

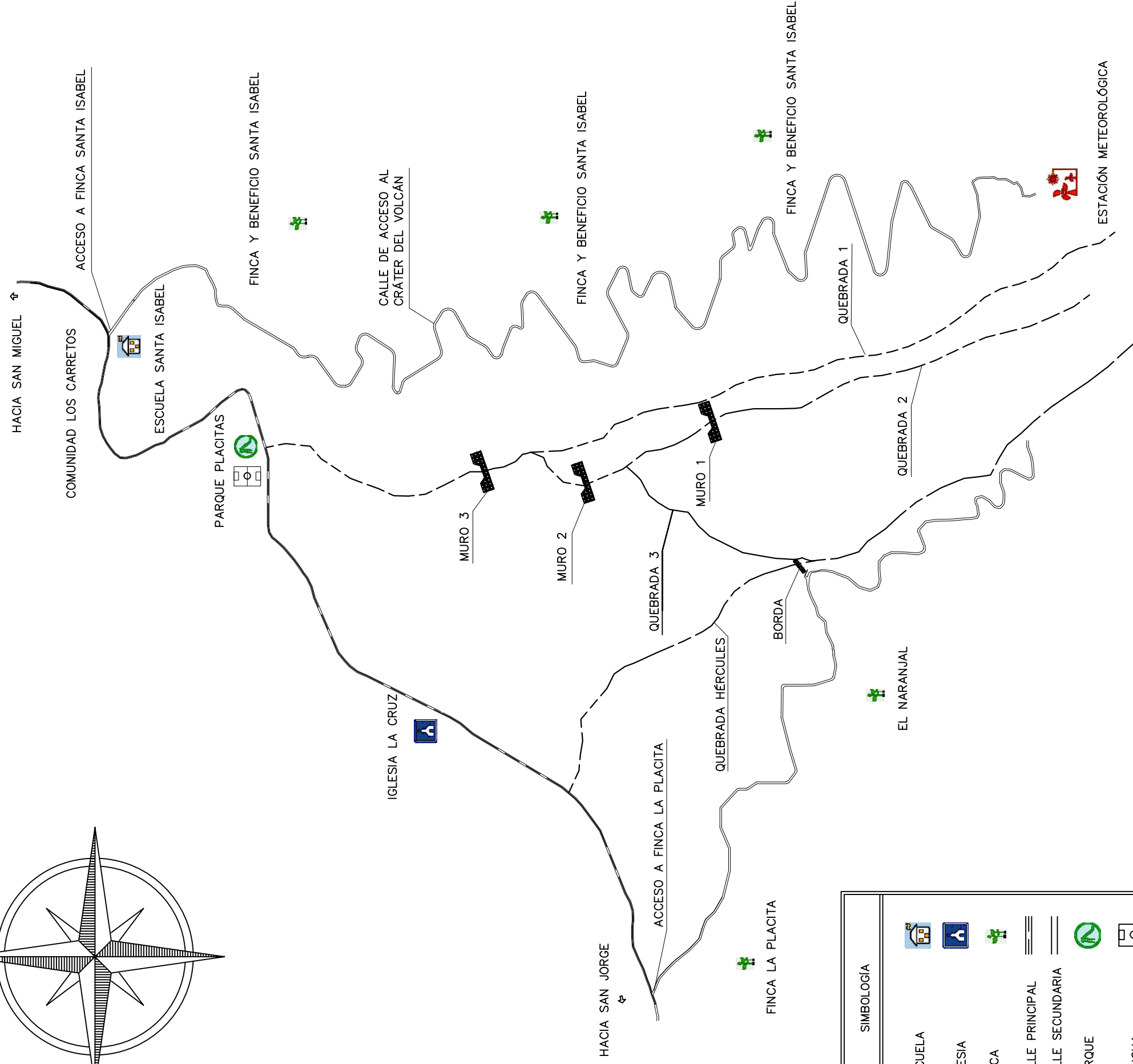
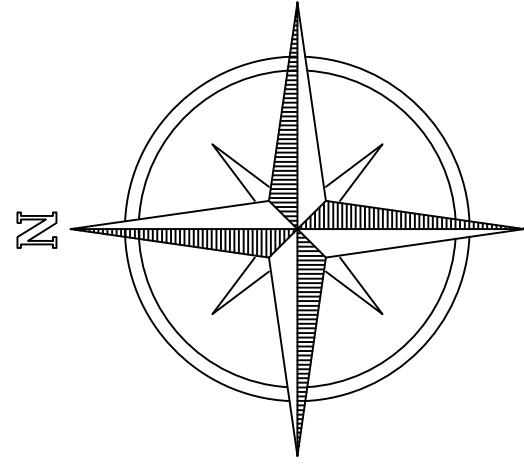
- ✓ PASOLAC. *Guía técnica para la conservación de suelos y agua*  
Editorial New Graphic S.A. de C.V. El Salvador. 2000
- ✓ Suarez Díaz, Jaime. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*  
Ingeniería de Suelos Ltda. Colombia. 1998.
- ✓ Suarez Díaz, Jaime. *Deslizamientos: análisis geotécnico*  
Universidad Industrial de Santander. Colombia. 2009.
- ✓ Suarez Díaz, Jaime. *Deslizamientos: Técnicas de remediación*  
Universidad Industrial de Santander. Colombia. 2009.
- ✓ Ven Te Chow. *Hidrología Aplicada.*  
Mc Graw-Hill. Colombia. 1994.

# **ANEXOS**



# ANEXO A

- **Anexo A1:** Plano de ubicación
- **Anexo A2:** Plano topográfico
- **Anexo A3:** Planta de quebrada 1
- **Anexo A4:** Perfil de quebrada 1
- **Anexo A5:** Planta de quebrada 2
- **Anexo A6:** Perfil de quebrada 2
- **Anexo A7:** Planta de quebrada 3
- **Anexo A8:** Perfil de quebrada 3
- **Anexo A9:** Detalles de obras civiles



SIMBOLOGÍA	
ESCUELA	
IGLESIA	
FINCA	
CALLE PRINCIPAL	
CALLE SECUNDARIA	
PARQUE	
CANCHA	
MURO	
ESTACIÓN METEOROLÓGICA	
QUEBRADA	

PROYECTO: "CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS EN SECTOR DE COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL Y PROPUESTA DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN DE LADERAS"

ASESOR: ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO

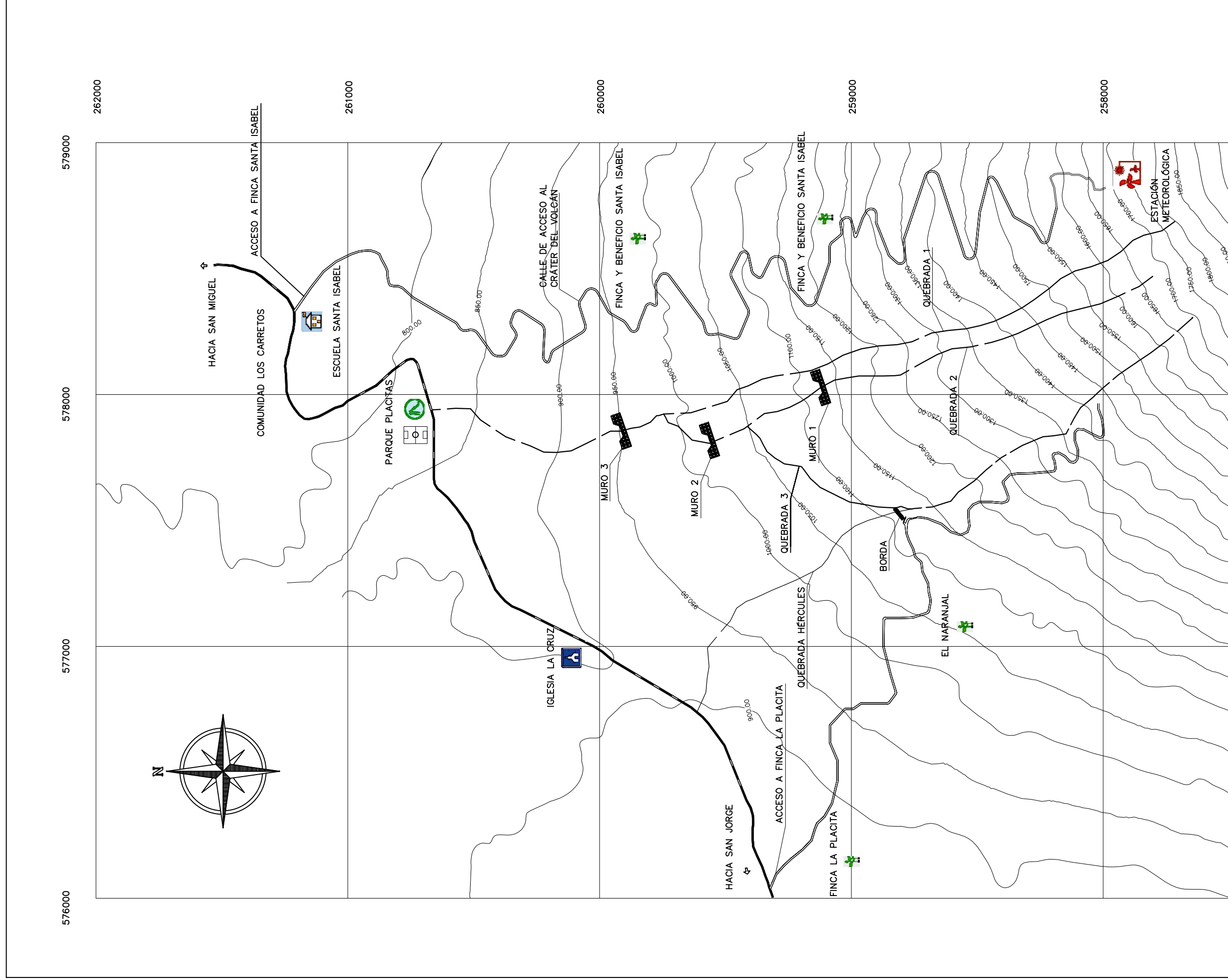
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

CONTENIDO: PLANO DE UBICACIÓN

PRESENTAN: GONZÁLEZ CORNEJO, ERICK NOÉ  
PONCE LOBOS, FRANCISCO JAVIER  
ULLOA MONTOYA, EVA ISABEL

UBICACIÓN: COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL

FECHA: SEPTIEMBRE/2014  
ESCALA: 1:15,000  
ANEXO: A1



PROYECTO: "CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS EN SECTOR DE COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL Y PROPUESTA DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN DE LADERAS"

ASESOR: ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

CONTENIDO: PLANO TOPOGRÁFICO

PRESENTAN: GONZÁLEZ CORNEJO, ERICK NOÉ  
PONCE LOBOS, FRANCISCO JAVIER  
ULLOA MONTOYA, EVA ISABEL

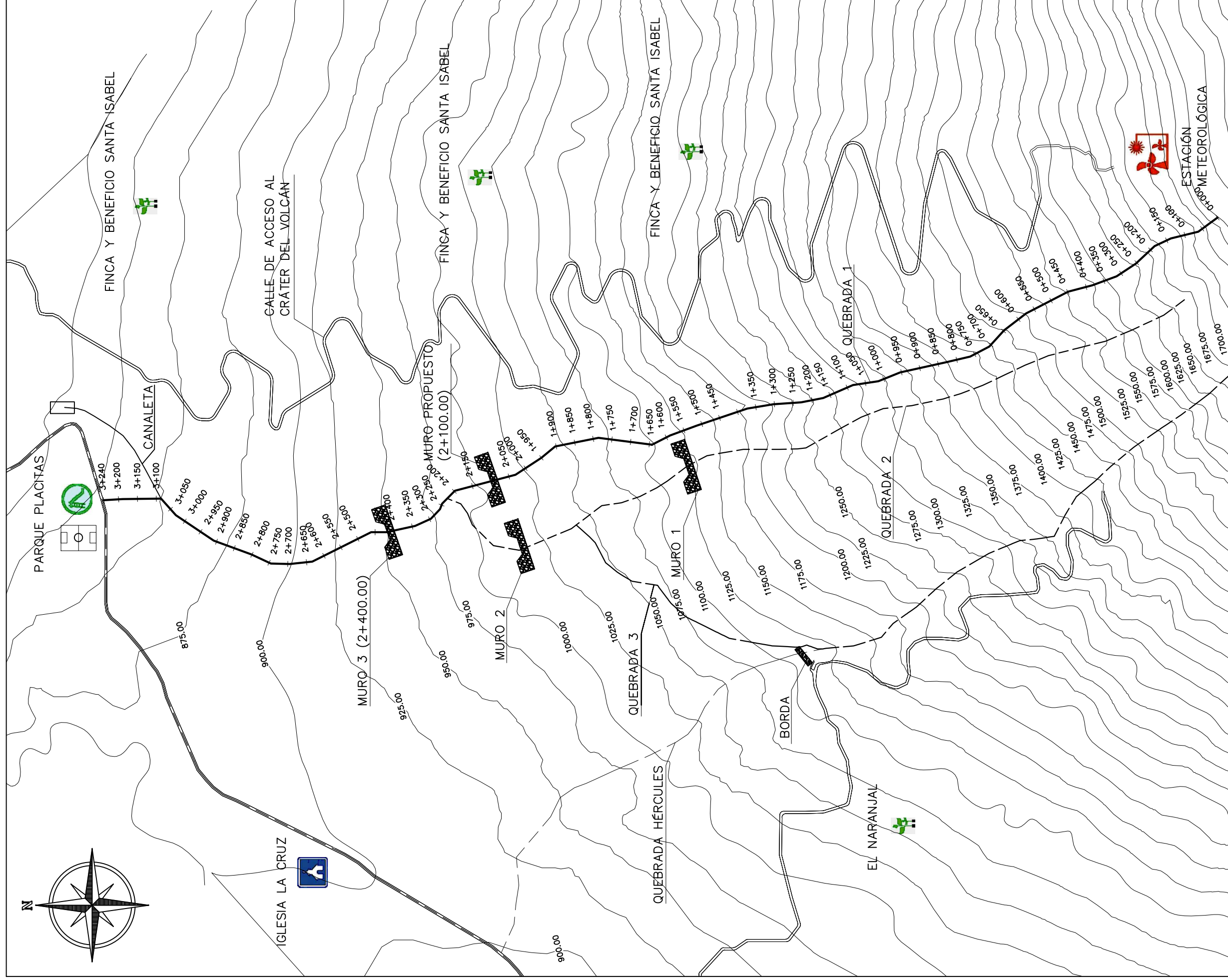


UBICACIÓN: COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL

FECHA: SEPTIEMBRE /2014

ESCALA: 1:15,000

ANEXO: A2



PROYECTO: "CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS EN SECTOR DE COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL Y PROPUESTA DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN DE LADERAS"

ASESOR: ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

CONTENIDO: PLANTA DE QUEBRADA 1

PRESENTAN: GONZALEZ CORNEJO, ERICK NOÉ  
PONCE LOBOS, FRANCISCO JAVIER  
ULLOA MONTOYA, EVA ISABEL



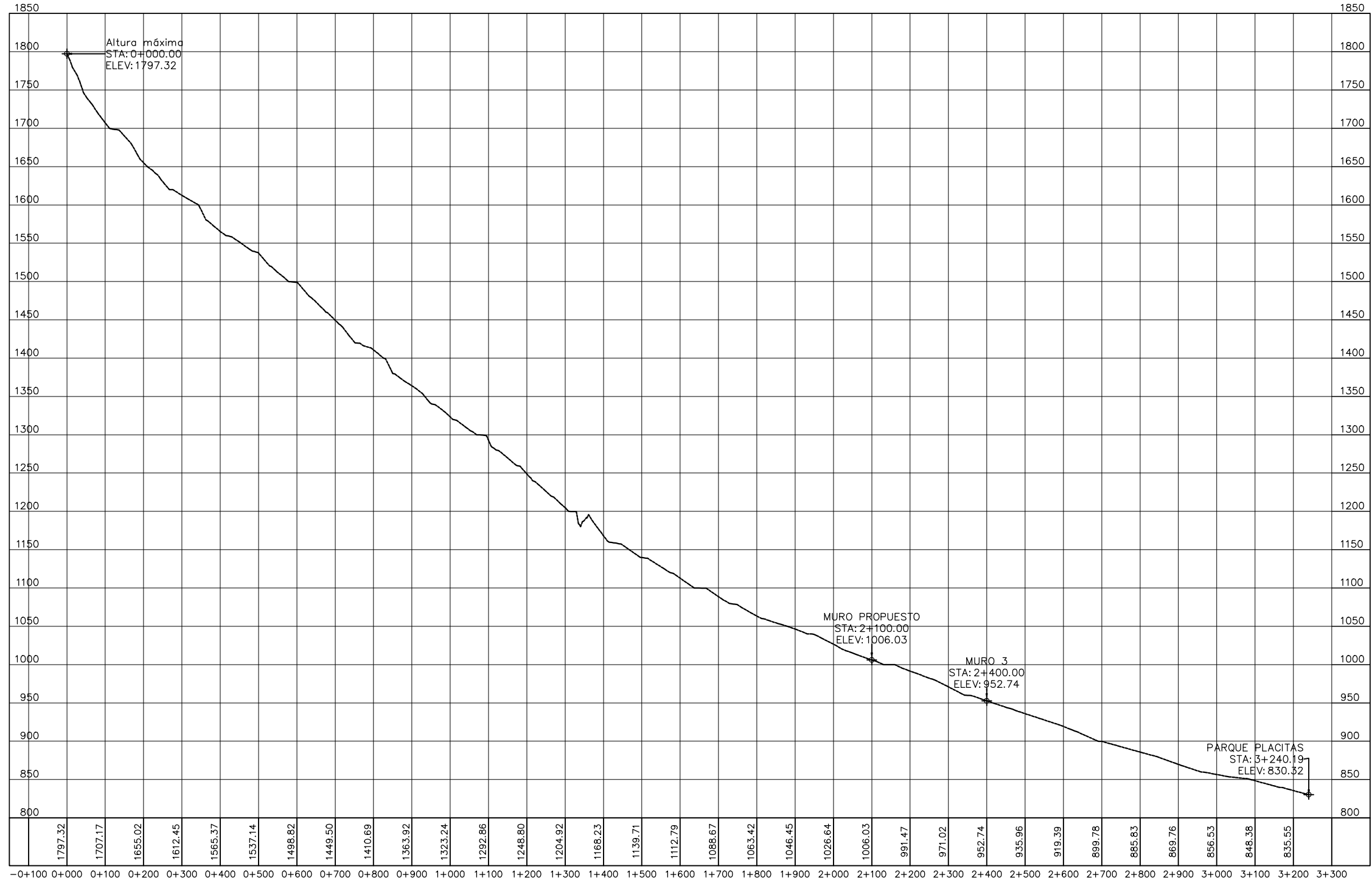
UBICACIÓN: COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL

FECHA: SEPTIEMBRE/2014

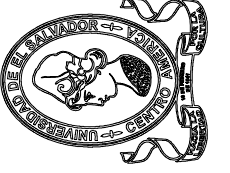
ESCALA: 1:10,000

ANEXO: A3

Perfil de Quebrada 1

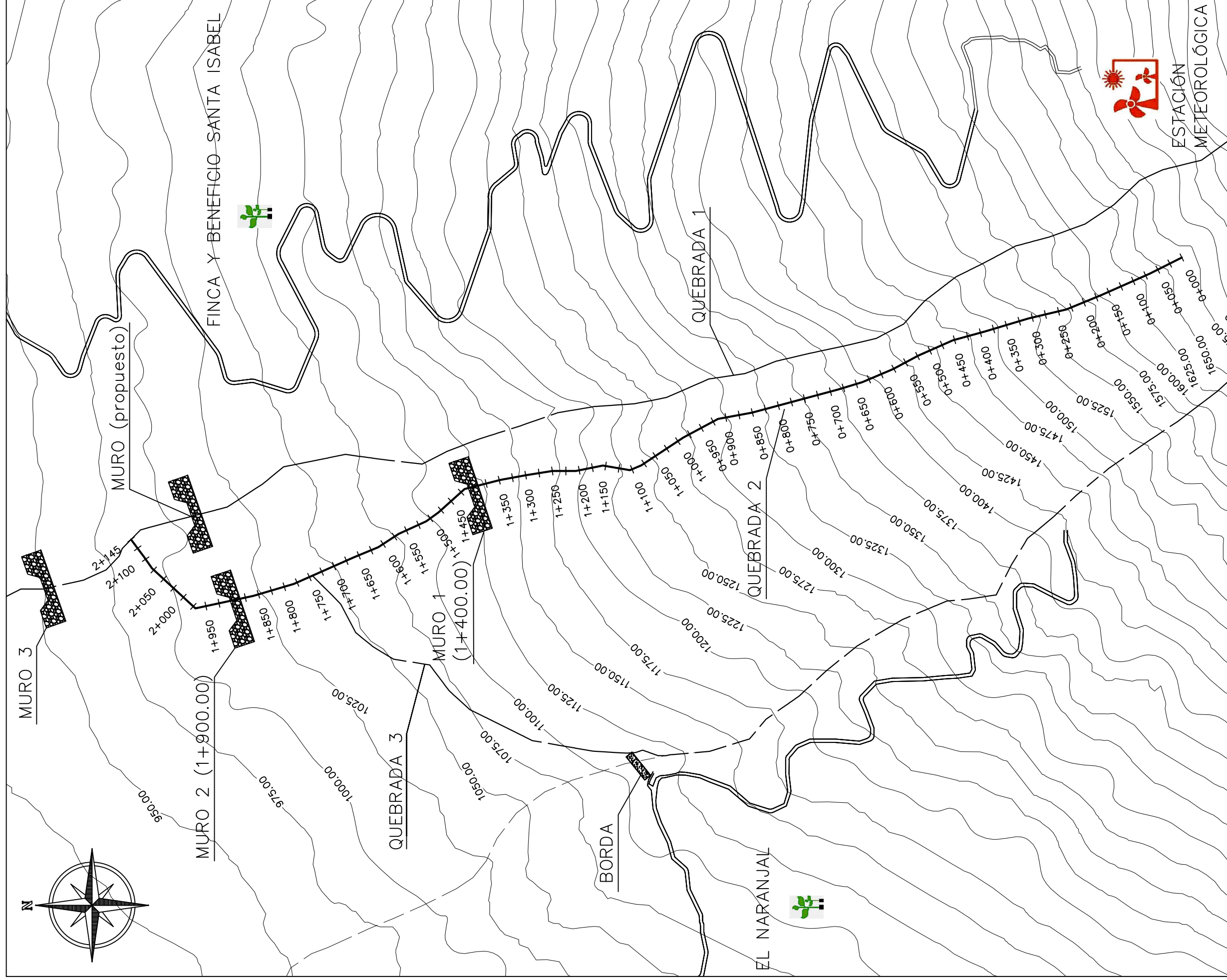


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



ASESOR:	ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO	
PRESENTAN:	GONZÁLEZ CORNEJO, ERICK NOÉ PONCE LOBOS, FRANCISCO JAVIER ULLOA MONTOYA, EVA ISABEL	
FECHA:	SEPTIEMBRE /2014	ANEXO: A4
	ESCALA:	Vert. 1:6,000 Horiz. 1:12,000

PROYECTO:	"CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS EN SECTOR DE COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL Y PROPUESTA DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN DE LADERAS"	
CONTENIDO:	PERFIL DE QUEBRADA 1	
UBICACIÓN:	COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL	



PROYECTO: "CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS EN SECTOR DE COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL Y PROPUESTA DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN DE LADERAS"

ASESOR: ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO

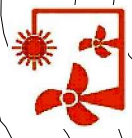
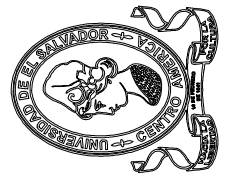
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

CONTENIDO: PLANTA DE QUEBRADA 2

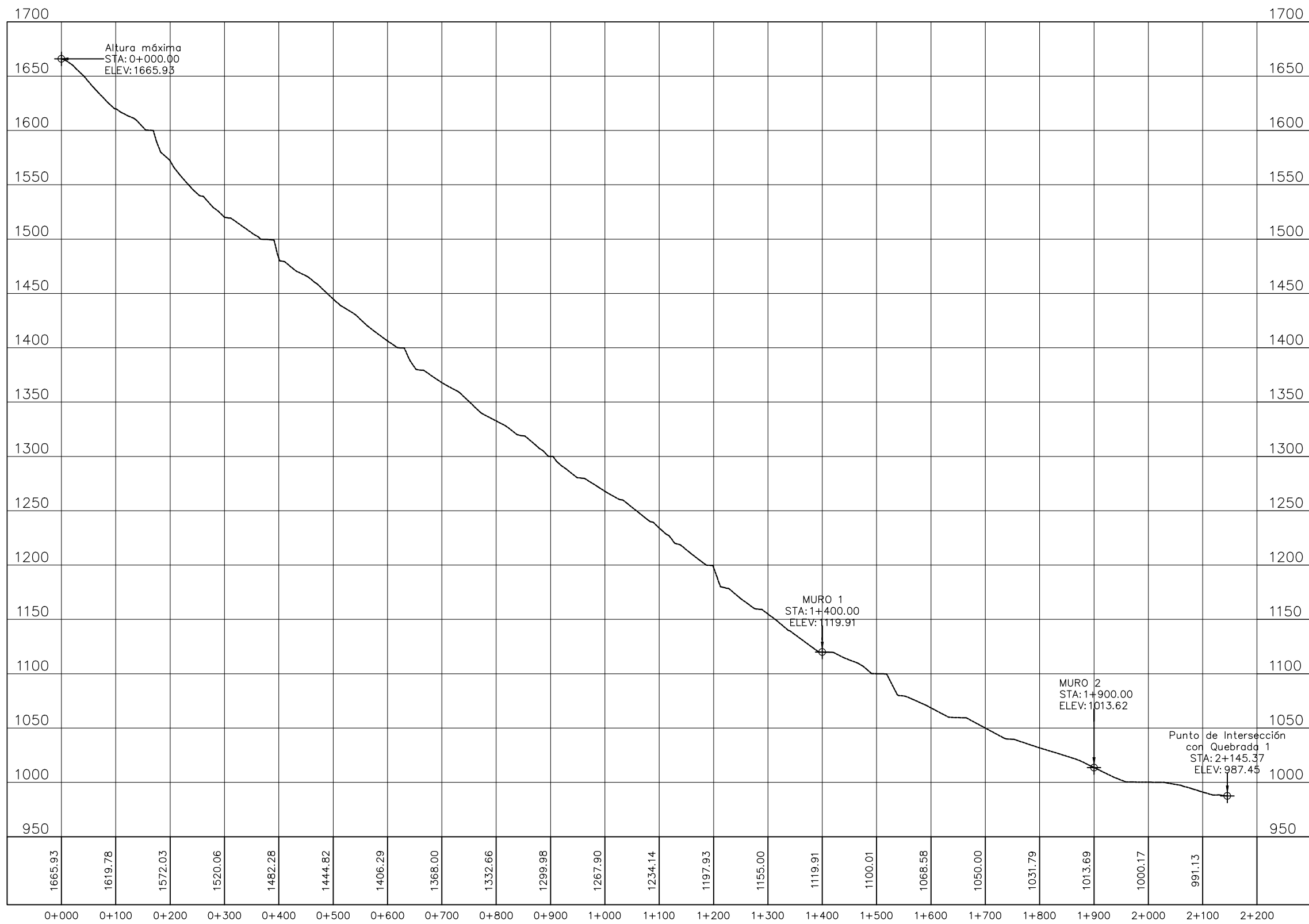
PRESENTAN: GONZÁLEZ CORNEJO, ERICK NOÉ  
PONCE LOBOS, FRANCISCO JAVIER  
ULLOA MONTOYA, EVA ISABEL

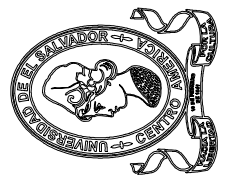
UBICACIÓN: COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL

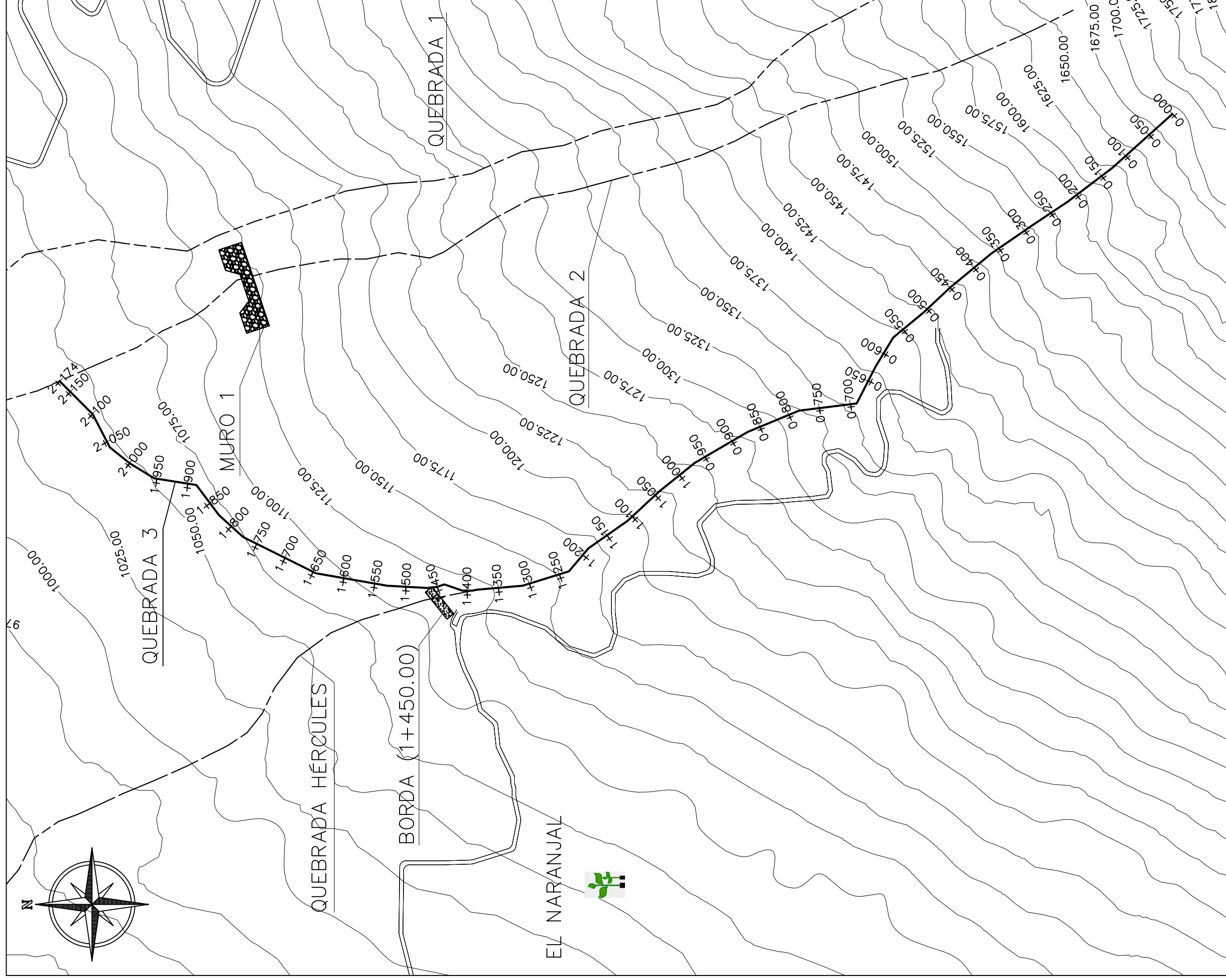
FECHA: SEPTIEMBRE/2014  
ESCALA: 1:7.000  
ANEXO: A5



### Perfil de Quebrada 2



 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		
PROYECTO: "CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS EN SECTOR DE COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL Y PROPUESTA DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN DE LADERAS"	ASESOR: ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO	PRESENTAN: GONZÁLEZ CORNEJO, ERICK NOÉ PONCE LOBOS, FRANCISCO JAVIER ULLOA MONTOYA, EVA ISABEL
CONTENIDO: PERFIL DE QUEBRADA 2	FECHA: SEPTIEMBRE /2014	ESCALA: Vert. 1:4,000 Horiz. 1:8,000 ANEXO: A6
UBICACIÓN: COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL		



PROYECTO: "CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS EN SECTOR DE COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL Y PROPUESTA DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN DE LADERAS"

ASESOR: ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

CONTENIDO: PLANTA DE QUEBRADA 3

PRESENTAN: GONZÁLEZ CORNEJO, ERICK NOÉ  
PONCE LOBOS, FRANCISCO JAVIER  
ULLOA MONTOYA, EVA ISABEL

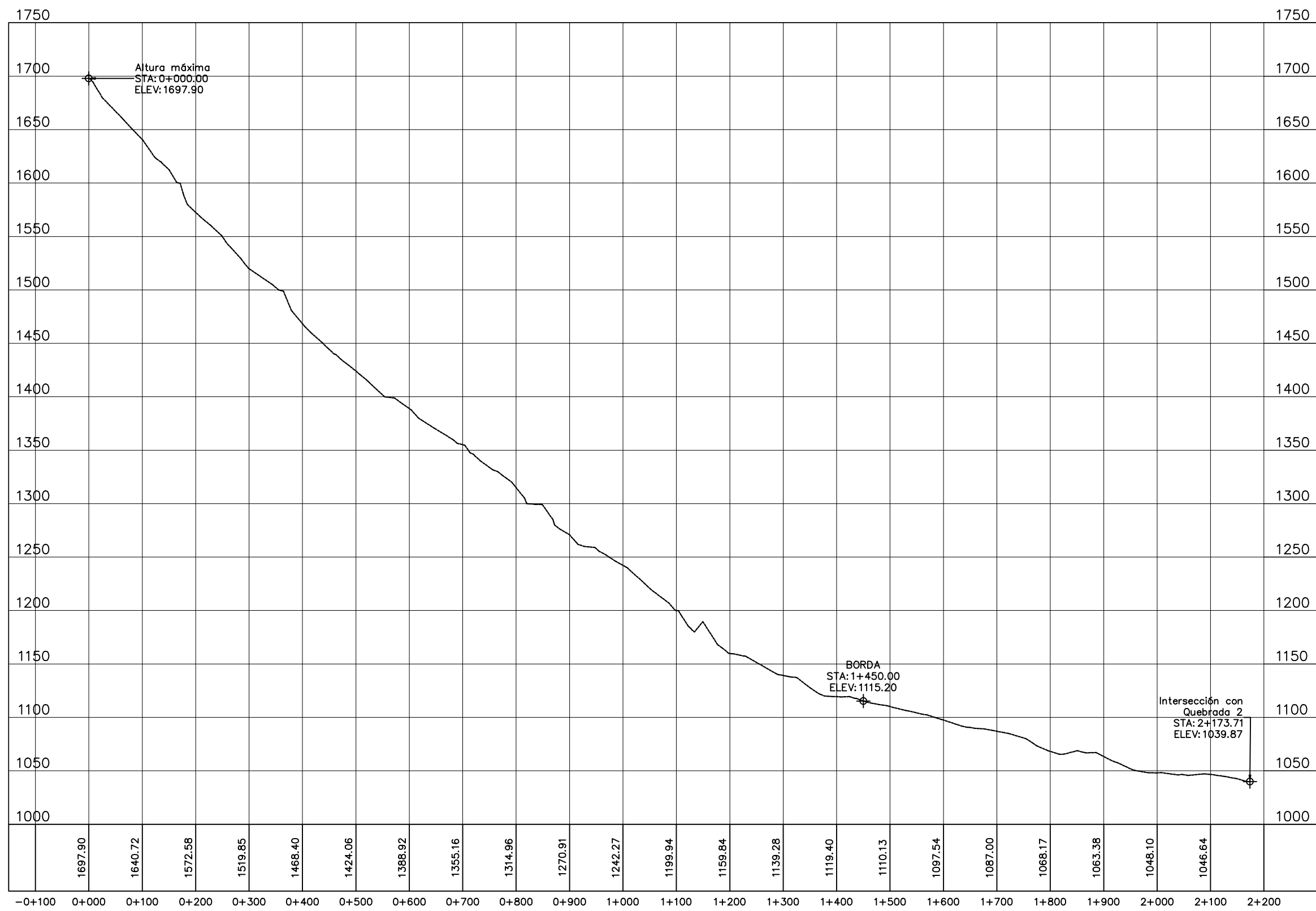


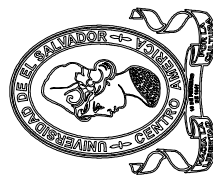
UBICACIÓN: COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL

FECHA: SEPTIEMBRE/2014  
ESCALA: 1:6,000  
ANEXO: A7

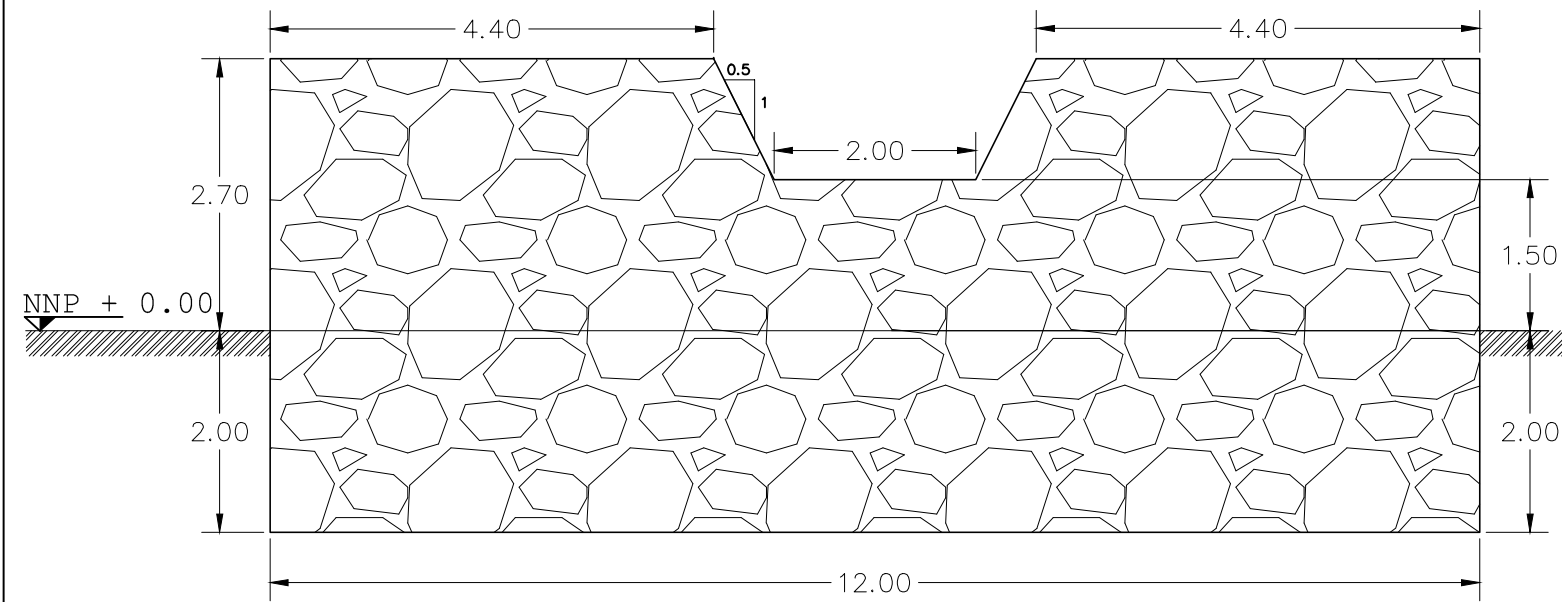


### Perfil de Quebrada 3



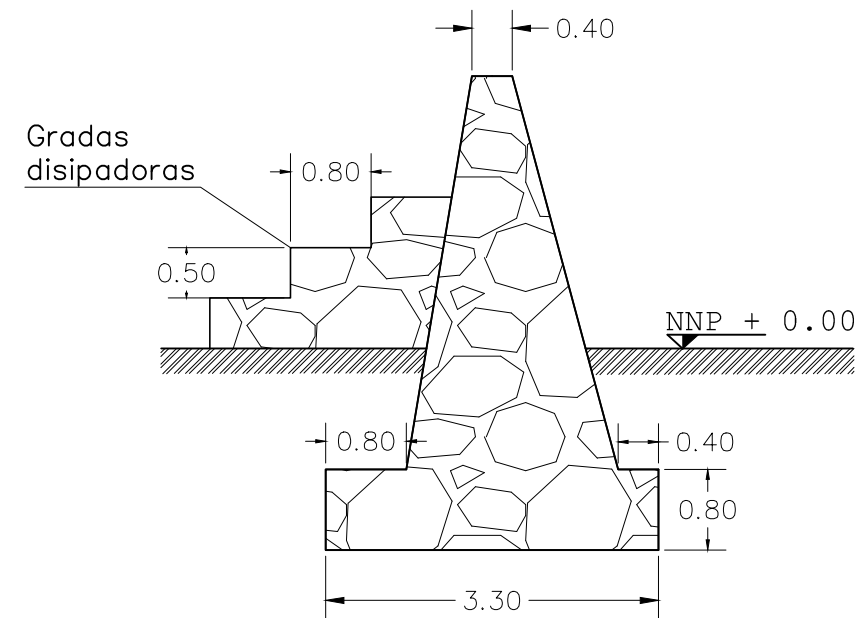
 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		
PROYECTO: "CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS EN SECTOR DE COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL Y PROPUESTA DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN DE LADERAS"	ASESOR: ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO	PRESENTAN: GONZÁLEZ CORNEJO, ERICK NOÉ PONCE LOBOS, FRANCISCO JAVIER ULLOA MONTOYA, EVA ISABEL
CONTENIDO: PERFIL DE QUEBRADA 3	ESCALA: Vert. 1:4,000 Horiz. 1:8,000	ANEXO: A8
UBICACIÓN: COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL	FECHA: SEPTIEMBRE /2014	

Vista de frente de muro derivador de flujo



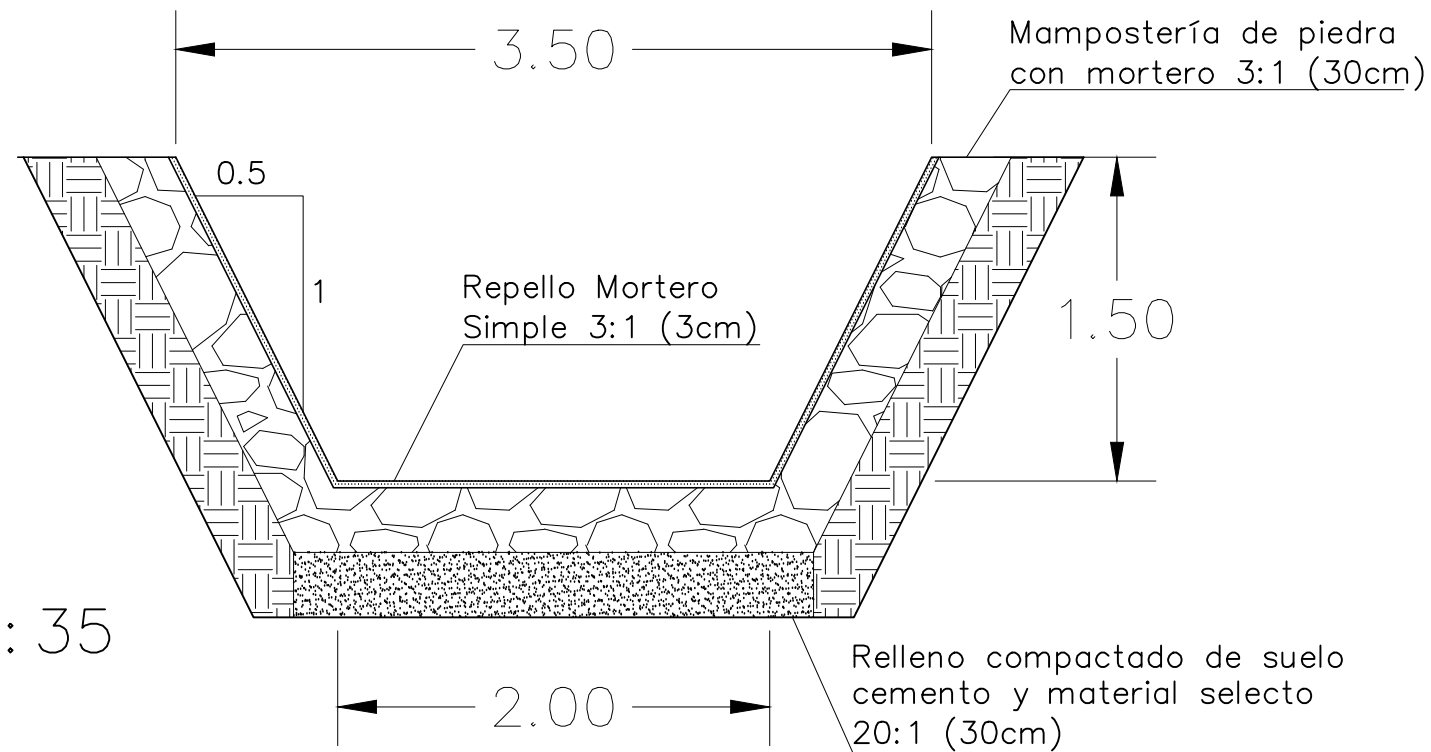
Escala: 1:75

Vista de perfil del muro derivador de flujo



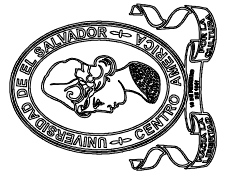
Escala: 1:75

Canaleta



Escala: 1:35

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



ASESOR:  
ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO

PRESENTAN:  
GONZÁLEZ CORNEJO, ERICK NOÉ  
PONCE LOBOS, FRANCISCO JAVIER  
ULLOA MONTOYA, EVA ISABEL

ANEXO:

A9

ESCALA:  
INDICADAS

FECHA:  
NOVIEMBRE/2014

PROYECTO: "CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS EN SECTOR DE COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL Y PROPUESTA DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN DE LADERAS"

CONTENIDO:  
DETALLES DE OBRAS CIVILES

UBICACIÓN: COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL

# ANEXO B

- **Anexo B1:** Densidad de campo ASTM D-1556
- **Anexo B2:** Descripción visual manual ASTM D-2488
- **Anexo B3:** Clasificación de los suelos ASTM D-2487
- **Anexo B4:** Análisis granulométrico ASTM D-422
- **Anexo B5:** Corte directo ASTM D-3080



**DENSIDAD DE CAMPO  
ASTM D 1556**

Proyecto: **Trabajo de Graduación** Fecha: **12 de mayo de 2014**  
 Ubicación: **Volcán Chaparrastique** Laboratorist **Grupo de tesis**  
**Comunidad Los Carretos, San Mig** Elaboró: **Grupo de tesis**  
 Hoja N°: **1/1**  
 Muestra N°: **1** Espécimen **1**

**Cálculo de la densidad de la arena**

Diámetro del molde (cm)	15.2
Altura del molde (cm)	16.4
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2976
Peso molde+arena: Wm+a (g)	6725.0
Peso molde: Wm (g)	2855.0
Peso arena: Wa (g)	3870.0
Densidad de la arena (g/cm <sup>3</sup> )	<b>1.30</b>

**Cálculo de la humedad del suelo (Según ASTM D 2216)**

Peso humedo + tara (g)	Wh+t	<b>1239.00</b>
Peso seco + tara (g)	Ws+t	<b>1146.70</b>
Peso Agua (g)	Ww= Wh+t - Ws+t	92.30
Tara (g)	Wt	<b>184.00</b>
Peso seco (g)	Ws= Ws+t - Wt	962.70
Contenido de humedad (%)	$\omega = Ww/Ws * 100$	<b>9.59%</b>

**Cálculo de la densidad de campo**

Peso frasco + arena (Inicial) (g)	W1	<b>5740.00</b>
Peso frasco+arena (después de llenar el cono) (g)	W2= W1-Wa	<b>4220.00</b>
Peso arena retenido en el cono (g)	W3= W1 -W2	1520.00
Peso frasco +arena (después de llenar el agujero en el campo) (g)	W4	<b>680.00</b>
Peso arena (retenida en el agujero) (g)	W5= W1 - W3 - W4	3540.00
Volumen del agujero (cm <sup>3</sup> )	Va=W5/ $\rho$	2722.16
Peso de suelo húmedo (del agujero) (g)	Wh	<b>3525.00</b>
Densidad del suelo humedad (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{hc} = Wh/Va$	<b>1.29</b>
Densidad del suelo seco (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{dc} = \rho_{hc}/(1+Wc)$	<b>1.18</b>

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



**DENSIDAD DE CAMPO  
ASTM D 1556**

Proyecto: **Trabajo de Graduación**      Fecha: **13 de mayo de 2014**  
 Ubicación: **Quebrada Hércules, Cantón Conac**      Laboratorist **Grupo de tesis**  
                  **Chinameca, San Miguel**      Elaboró: **Grupo de tesis**  
    Hoja N°: **1/1**  
 Muestra N°: **2**      Espécimen  $\uparrow$  **1**

**Cálculo de la densidad de la arena**

Diámetro del molde (cm)	15.2
Altura del molde (cm)	16.4
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2976
Peso molde+arena: Wm+a (g)	6725.0
Peso molde: Wm (g)	2855.0
Peso arena: Wa (g)	3870.0
Densidad de la arena (g/cm <sup>3</sup> )	<b>1.30</b>

**Cálculo de la humedad del suelo (Según ASTM D 2216)**

Peso humedo + tara (g)	Wh+t	<b>1251.90</b>
Peso seco + tara (g)	Ws+t	<b>1157.40</b>
Peso Agua (g)	Ww= Wh+t - Ws+t	94.50
Tara (g)	Wt	<b>165.80</b>
Peso seco (g)	Ws= Ws+t - Wt	991.60
Contenido de humedad (%)	$\omega = Ww/Ws * 100$	<b>9.53%</b>

**Cálculo de la densidad de campo**

Peso frasco + arena (Inicial) (g)	W1	<b>6045.00</b>
Peso frasco+arena (después de llenar el cono) (g)	W2= W1-Wa	<b>4525.00</b>
Peso arena retenido en el cono (g)	W3= W1 -W2	1520.00
Peso frasco +arena (después de llenar el agujero en el campo) (g)	W4	<b>2425.00</b>
Peso arena (retenida en el agujero) (g)	W5= W1 - W3 - W4	2100.00
Volumen del agujero (cm <sup>3</sup> )	Va=W5/ $\rho$	1614.84
Peso de suelo húmedo (del agujero) (g)	Wh	<b>1995.00</b>
Densidad del suelo humedad (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{hc} = Wh/Va$	<b>1.24</b>
Densidad del suelo seco (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{dc} = \rho_{hc}/(1+Wc)$	<b>1.13</b>

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



**DENSIDAD DE CAMPO  
ASTM D 1556**

Proyecto: **Trabajo de Graduación** Fecha: **14 de mayo de 2014**  
 Ubicación: **Volcán Chaparrastique** Laboratorist **Grupo de tesis**  
**Comunidad Los Carretos, San Mig** Elaboró: **Grupo de tesis**  
 Hoja N°: **1/1**  
 Muestra N°: **3** Espécimen **1**

**Cálculo de la densidad de la arena**

Diámetro del molde (cm)	15.2
Altura del molde (cm)	16.4
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2976
Peso molde+arena: W <sub>m+a</sub> (g)	6725.0
Peso molde: W <sub>m</sub> (g)	2855.0
Peso arena: W <sub>a</sub> (g)	3870.0
Densidad de la arena (g/cm <sup>3</sup> )	<b>1.30</b>

**Cálculo de la humedad del suelo (Según ASTM D 2216)**

Peso humedo + tara (g)	W <sub>h+t</sub>	<b>1284.80</b>
Peso seco + tara (g)	W <sub>s+t</sub>	<b>1182.50</b>
Peso Agua (g)	W <sub>w</sub> = W <sub>h+t</sub> - W <sub>s+t</sub>	102.30
Tara (g)	W <sub>t</sub>	<b>165.80</b>
Peso seco (g)	W <sub>s</sub> = W <sub>s+t</sub> - W <sub>t</sub>	1016.70
Contenido de humedad (%)	$\omega = W_w / W_s * 100$	<b>10.06%</b>

**Cálculo de la densidad de campo**

Peso frasco + arena (Inicial) (g)	W <sub>1</sub>	<b>5975.00</b>
Peso frasco+arena (después de llenar el cono) (g)	W <sub>2</sub> = W <sub>1</sub> -W <sub>a</sub>	<b>4455.00</b>
Peso arena retenido en el cono (g)	W <sub>3</sub> = W <sub>1</sub> -W <sub>2</sub>	1520.00
Peso frasco +arena (después de llenar el agujero en el campo) (g)	W <sub>4</sub>	<b>2295.00</b>
Peso arena (retenida en el agujero) (g)	W <sub>5</sub> = W <sub>1</sub> - W <sub>3</sub> - W <sub>4</sub>	2160.00
Volumen del agujero (cm <sup>3</sup> )	V <sub>a</sub> =W <sub>5</sub> /ρ	1660.98
Peso de suelo húmedo (del agujero) (g)	W <sub>h</sub>	<b>2060.00</b>
Densidad del suelo humedad (g/cm <sup>3</sup> )	ρ <sub>hc</sub> = W <sub>h</sub> /V <sub>a</sub>	<b>1.24</b>
Densidad del suelo seco (g/cm <sup>3</sup> )	ρ <sub>dc</sub> = ρ <sub>hc</sub> /(1+W <sub>c</sub> )	<b>1.13</b>

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



**DENSIDAD DE CAMPO  
ASTM D 1556**

Proyecto: **Trabajo de Graduación**      Fecha: **15 de mayo de 2014**  
 Ubicación: **Volcán Chaprrastique**      Laboratorist **Grupo de tesis**  
                  **Comunidad Los Carretos, San Mig**      Elaboró: **Grupo de tesis**  
    Hoja N°: **1/1**  
 Muestra N°: **4**      Espécimen  $\uparrow$  **1**

**Cálculo de la densidad de la arena**

Diámetro del molde (cm)	15.2
Altura del molde (cm)	16.4
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2976
Peso molde+arena: Wm+a (g)	6725.0
Peso molde: Wm (g)	2855.0
Peso arena: Wa (g)	3870.0
Densidad de la arena (g/cm <sup>3</sup> )	<b>1.30</b>

**Cálculo de la humedad del suelo (Según ASTM D 2216)**

Peso humedo + tara (g)	Wh+t	<b>1281.20</b>
Peso seco + tara (g)	Ws+t	<b>1260.00</b>
Peso Agua (g)	Ww= Wh+t - Ws+t	21.20
Tara (g)	Wt	<b>172.00</b>
Peso seco (g)	Ws= Ws+t - Wt	1088.00
Contenido de humedad (%)	$\omega = Ww/Ws * 100$	<b>1.95%</b>

**Cálculo de la densidad de campo**

Peso frasco + arena (Inicial) (g)	W1	<b>6395.00</b>
Peso frasco+arena (después de llenar el cono) (g)	W2= W1-Wa	<b>4875.00</b>
Peso arena retenido en el cono (g)	W3= W1 -W2	1520.00
Peso frasco +arena (después de llenar el agujero en el campo) (g)	W4	<b>1940.00</b>
Peso arena (retenida en el agujero) (g)	W5= W1 - W3 - W4	2935.00
Volumen del agujero (cm <sup>3</sup> )	Va=W5/ $\rho$	2256.93
Peso de suelo húmedo (del agujero) (g)	Wh	<b>2870.00</b>
Densidad del suelo humedad (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{hc} = Wh/Va$	<b>1.27</b>
Densidad del suelo seco (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{dc} = \rho_{hc}/(1+Wc)$	<b>1.25</b>

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



**DENSIDAD DE CAMPO  
ASTM D 1556**

Proyecto: **Trabajo de Graduación** Fecha: **16 de mayo 2014**  
 Ubicación: **Volcán Chaparrastique** Laboratorist **Grupo de tesis**  
**Comunidad Los Carretos, San Mig** Elaboró: **Grupo de tesis**  
 Hoja N°: **1/1**  
 Muestra N°: **5** Espécimen **1**

**Cálculo de la densidad de la arena**

Diámetro del molde (cm)	15.2
Altura del molde (cm)	16.4
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2976
Peso molde+arena: W <sub>m+a</sub> (g)	6725.0
Peso molde: W <sub>m</sub> (g)	2855.0
Peso arena: W <sub>a</sub> (g)	3870.0
Densidad de la arena (g/cm <sup>3</sup> )	<b>1.30</b>

**Cálculo de la humedad del suelo (Según ASTM D 2216)**

Peso humedo + tara (g)	W <sub>h+t</sub>	<b>1337.10</b>
Peso seco + tara (g)	W <sub>s+t</sub>	<b>1295.00</b>
Peso Agua (g)	W <sub>w</sub> = W <sub>h+t</sub> - W <sub>s+t</sub>	42.10
Tara (g)	W <sub>t</sub>	<b>173.50</b>
Peso seco (g)	W <sub>s</sub> = W <sub>s+t</sub> - W <sub>t</sub>	1121.50
Contenido de humedad (%)	$\omega = W_w / W_s * 100$	<b>3.75%</b>

**Cálculo de la densidad de campo**

Peso frasco + arena (Inicial) (g)	W <sub>1</sub>	<b>6280.00</b>
Peso frasco+arena (después de llenar el cono) (g)	W <sub>2</sub> = W <sub>1</sub> -W <sub>a</sub>	<b>4760.00</b>
Peso arena retenido en el cono (g)	W <sub>3</sub> = W <sub>1</sub> -W <sub>2</sub>	1520.00
Peso frasco +arena (después de llenar el agujero en el campo) (g)	W <sub>4</sub>	<b>2790.00</b>
Peso arena (retenida en el agujero) (g)	W <sub>5</sub> = W <sub>1</sub> - W <sub>3</sub> - W <sub>4</sub>	1970.00
Volumen del agujero (cm <sup>3</sup> )	V <sub>a</sub> =W <sub>5</sub> /ρ	1514.87
Peso de suelo húmedo (del agujero) (g)	W <sub>h</sub>	<b>2155.00</b>
Densidad del suelo humedad (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{hc} = W_h / V_a$	<b>1.42</b>
Densidad del suelo seco (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{dc} = \rho_{hc} / (1 + W_c)$	<b>1.37</b>

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_





**DESCRIPCIÓN VISUAL-MANUAL DE LOS SUELOS  
ASTM-D 2488**

Proyecto: **Trabajo de Graduación** Fecha: **30 de mayo de 2014**  
 Ubicación: **Volcán Chaparrastique** Laboratorista: **Grupo de tesis**  
**Comunidad Los Carretos, San Miguel** Elaboró: **Grupo de tesis**  
 Ensayo N°: **1** Hoja N°: **1**  
 Muestra N°: **1**  
 Ubicación de extracción de la muestra: **Zona Alta Volcan Chaparrastique Comunidad Los Carretos**

Nombre del Ensayo		Parámetros	Símbolos	Identificación
<b>Inspección Visual</b>	<b>Color</b>	Rojizo a rojo oscuro	RO	Contenido de óxido de hierro, combinaciones químicas de hierro
	<b>Forma</b>	Angular	AG	Lentejas, piedras volcánicas y chispas
<b>Sedimentación</b>		Inmediata	I (%)	Arena
<b>Sacudimiento</b>		Reacción rápida	RR	Limo inorgánico, polvo de roca, arena muy fina
<b>Rotura</b>		Ligera	L	Limo inorgánico, polvo de roca, arena limosa
<b>Plasticidad</b>		No plástico	NP	
<b>Olor</b>		Sin olor	SO	
<b>Brillo</b>		Superficie mate	SM	Limo, arcilla de baja plasticidad
<b>Sonido</b>		Chasquido	CH	Arena fina

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



**DESCRIPCIÓN VISUAL-MANUAL DE LOS SUELOS**  
**ASTM-D 2488**

Proyecto: **Trabajo de Graduación** Fecha: **30 de mayo de 2014**  
 Ubicación: **Quebrada Hércules, Cantón Conacastal** Laboratorista: **Grupo de tesis**  
**Chinameca, San Miguel** Elaboró: **Grupo de tesis**  
 Ensayo N°: **1** Hoja N°: **1**  
 Muestra N°: **2**  
 Ubicación de extracción de la muestra: **Quebrada Hercules Canton Conacastal Chinameca**

Nombre del Ensayo		Parámetros	Símbolos	Identificación
Inspección Visual	Color	Amarillo a café	AC	Contenido de hierro o hierro hidratado
	Forma	Angular	AG	Lentejas, piedras volcánicas y chispas
Sedimentación		Un minuto	UM (%)	Limo
Sacudimiento		Reacción rápida	RR	Limo inorgánico, polvo de roca, arena muy fina
Rotura		Ligera	L	Limo inorgánico, polvo de roca, arena limosa
Plasticidad		No plástico	NP	
Olor		Sin olor	SO	
Brillo		Superficie mate	SM	Limo, arcilla de baja plasticidad
Sonido		Chasquido	CH	Arena fina

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



**DESCRIPCIÓN VISUAL-MANUAL DE LOS SUELOS  
ASTM-D 2488**

Proyecto: **Trabajo de Graduación** Fecha: **30 de mayo de 2014**  
 Ubicación: **Volcán Chaparrastique** Laboratorista: **Grupo de tesis**  
**Comunidad Los Carretos, San Miguel** Elaboró: **Grupo de tesis**  
 Ensayo N°: **1** Hoja N°: **1**  
 Muestra N°: **3**  
 Ubicación de extracción de la muestra: **Quebrada La Arenera altura 1015.0 msnm canton El Volcan**

Nombre del Ensayo		Parámetros	Símbolos	Identificación
<b>Inspección Visual</b>	<b>Color</b>	Rojizo a rojo oscuro	RO	Contenido de óxido de hierro, combinaciones químicas de hierro
	<b>Forma</b>	Angular	AG	Lentejas, piedras volcánicas y chispas
<b>Sedimentación</b>		Un minuto	UM (%)	Limo
<b>Sacudimiento</b>		Reacción rápida	RR	Limo inorgánico, polvo de roca, arena muy fina
<b>Rotura</b>		Ligera	L	Limo inorgánico, polvo de roca, arena limosa
<b>Plasticidad</b>		No plástico	NP	
<b>Olor</b>		Sin olor	SO	
<b>Brillo</b>		Superficie mate	SM	Limo, arcilla de baja plasticidad
<b>Sonido</b>		Chasquido	CH	Arena fina

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



**DESCRIPCIÓN VISUAL-MANUAL DE LOS SUELOS**  
**ASTM-D 2488**

Proyecto: **Trabajo de Graduación** Fecha: **30 de mayo de 2014**  
 Ubicación: **Volcán Chaparrastique** Laboratorista: **Grupo de tesis**  
**Comunidad Los Carretos, San Miguel** Elaboró: **Grupo de tesis**  
 Ensayo N°: **1** Hoja N°: **1**  
 Muestra N°: **4**  
 Ubicación de extracción de la muestra: **Quebrada La Arenera altura 955.0 msnm canton El Volcan**

Nombre del Ensayo		Parámetros	Símbolos	Identificación
<b>Inspección Visual</b>	<b>Color</b>	Rojizo a rojo oscuro	RO	Contenido de óxido de hierro, combinaciones químicas de hierro
	<b>Forma</b>	Angular	AG	Lentejas, piedras volcánicas y chispas
<b>Sedimentación</b>		Un minuto	UM (%)	Limo
<b>Sacudimiento</b>		Reacción rápida	RR	Limo inorgánico, polvo de roca, arena muy fina
<b>Rotura</b>		Ligera	L	Limo inorgánico, polvo de roca, arena limosa
<b>Plasticidad</b>		No plástico	NP	
<b>Olor</b>		Sin olor	SO	
<b>Brillo</b>		Superficie mate	SM	Limo, arcilla de baja plasticidad
<b>Sonido</b>		Chasquido	CH	Arena fina

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_





**CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS**  
**ASTM D-2487**

Proyecto: **Trabajo de Graduación** Fecha: **30 de mayo de 2014**  
Ubicación: **Volcán Chaparrastique** Laboratorista: **Grupo de tesis**  
**Comunidad Los Carretos, San Miguel** Elaboró: **Grupo de tesis**  
Ensayo N°: **1** Hoja N°: **1/5**  
Muestra N°: **1**  
Ubicación de extracción de la muestra: **Zona Alta Volcán Chaparrastique Comunidad Los Carretos**

Clasificación del suelo, muestra #1, zona alta volcán Chaparrastique, comunidad Los Carretos

Datos:

Fracción de grava (retenida en la malla N° 4) = 31.84%

Fracción de arena (pasa N° 4, pero es retenida en la malla N°200) = 62.88%

Limo y arcilla (pasa la malla N° 200)= 5.28 %

Límite líquido= 0

Índice de plasticidad= 0

El suelo es SP-SM y como tiene más del 15% de gravas, el nombre de su grupo es: **arena mal graduada con limo y grava.**

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



**CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS**  
**ASTM D-2487**

Proyecto: **Trabajo de Graduación** Fecha: **30 de mayo de 2014**  
Ubicación: **Quebrada Hércules, Cantón Conacastal** Laboratorista: **Grupo de tesis**  
**Chinameca, San Miguel** Elaboró: **Grupo de tesis**  
Ensayo N°: **1** Hoja N°: **2/5**  
Muestra N°: **2**  
Ubicación de extracción de la muestra: **Quebrada Hercules Canton Conacastal Chinameca**

Clasificación del suelo, muestra #2, Quebrada Hercules, cantón Conacastal.

Datos:

Fracción de grava (retenida en la malla N° 4) = 32.11%

Fracción de arena (pasa N° 4, pero es retenida en la malla N°200) = 51.08%

Limo y arcilla (pasa la malla N° 200)= 16. 81%

Límite líquido= 0

Índice de plasticidad= 0

El suelo es **SM** y como el suelo tiene más del 15% de gravas el nombre de su grupo es: **Arena limosa con grava.**

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



**CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS**  
**ASTM D-2487**

Proyecto: **Trabajo de Graduación** Fecha: **30 de mayo de 2014**  
Ubicación: **Volcán Chaparrastique** Laboratorista: **Grupo de tesis**  
**Comunidad Los Carretos, San Miguel** Elaboró: **Grupo de tesis**  
Ensayo N°: **1** Hoja N°: **3/5**  
Muestra N°: **3**  
Ubicación de extracción de la muestra: **Quebrada La Arenera altura 1013.0 msnm cantón El Volcan**

Clasificación del suelo, muestra #3, Quebrada La Arenera altura 1013.0 msnm cantón El Volcanl.

Datos:

Fracción de grava (retenida en la malla N° 4) = 44.37%

Fracción de arena (pasa N° 4, pero es retenida en la malla N°200) = 47.60%

Limo y arcilla (pasa la malla N° 200)= 8.03%

Límite líquido= 0

Índice de plasticidad= 0

El suelo es **SW-SM** y como el suelo tiene más del 15% de gravas el nombre de su grupo es: **arena bien graduada con limo y grava**

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_





**CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS**  
**ASTM D-2487**

Proyecto: **Trabajo de Graduación** Fecha: **30 de mayo de 2014**  
Ubicación: **Volcán Chaparrastique** Laboratorista: **Grupo de tesis**  
**Comunidad Los Carretos, San Miguel** Elaboró: **Grupo de tesis**  
Ensayo N°: **1** Hoja N°: **4/5**  
Muestra N°: **4**  
Ubicación de extracción de la muestra: **Quebrada La Arenera altura 953.0 msnm cantón El Volcan**

Clasificación del suelo, muestra #4, Quebrada La Arenera altura 953.0 msnm cantón El Volcan.

Datos:

Fracción de grava (retenida en la malla N° 4) = 34.02%

Fracción de arena (pasa N° 4, pero es retenida en la malla N°200) = 59.9%

Limo y arcilla (pasa la malla N° 200)= 6.08%

Límite líquido= 0

Índice de plasticidad= 0

El suelo es **SW-SM** y como el suelo tiene más del 15% de gravas el nombre de su grupo es: **arena bien graduada con limo y grava**

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



**CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS**  
**ASTM D-2487**

Proyecto: **Trabajo de Graduación** Fecha: **30 de mayo de 2014**  
Ubicación: **Volcán Chaparrastique** Laboratorista: **Grupo de tesis**  
**Comunidad Los Carretos, San Miguel** Elaboró: **Grupo de tesis**  
Ensayo N°: **1** Hoja N°: **5/5**  
Muestra N°: **5**  
Ubicación de extracción de la muestra: **Parque Las Placitas cantón El Volcan, San Miguel**

Clasificación del suelo, muestra #5, Parque Las Placitas cantón El Volcan, San Miguel.

Datos:

Fracción de grava (retenida en la malla N° 4) = 27.46%

Fracción de arena (pasa N° 4, pero es retenida en la malla N°200) = 63.48%

Limo y arcilla (pasa la malla N° 200)= 9.06%

Límite líquido= 0

Índice de plasticidad= 0

El suelo es **SP-SM** y como el suelo tiene más del 15% de gravas el nombre de su grupo es: **arena mal graduada con limo y grava.**

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**  
**ASTM D 422**

Proyecto: **Trabajo de Graduación** Fecha: **5 de mayo de 2014**  
 Ubicación: **Volcán Chaparrastique** Laboratorista: **Grupo de tesis**  
**Comunidad Los Carretos, San Miguel** Elaboró: **Grupo de tesis**  
 Peso de la muestra (g): **10510** Hoja N°: **1/2**  
 Muestra N°: **1** Espécimen N°: **1**

Fracción	Peso (g)	Porcentaje
G: Retenida N° 4	3346.30	31.84%
A: Pasa N° 4	7163.70	68.16%
Total	10510.00	100.00%

G: Gravas A: Arenas

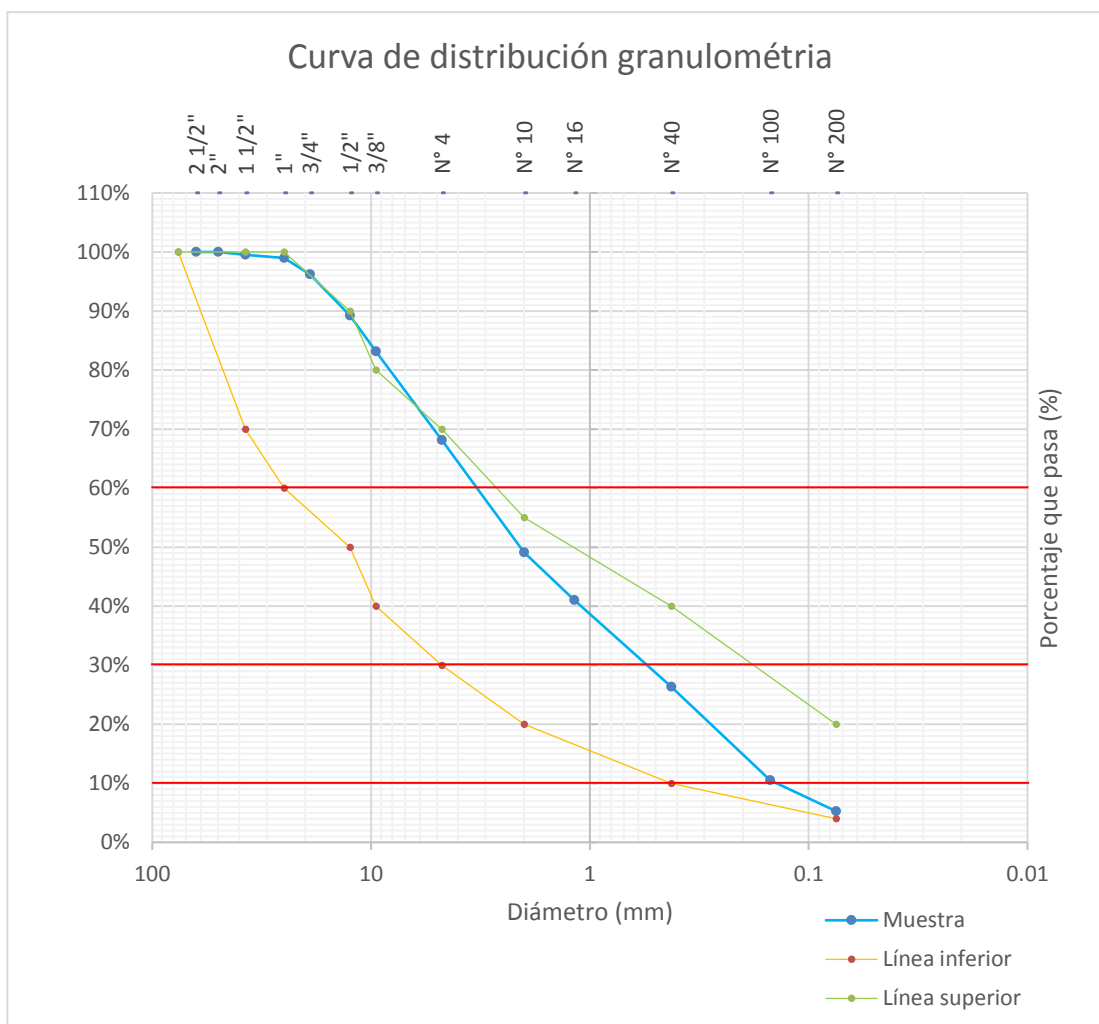
Malla	Tamaño (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
2 1/2"	63	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	37.5	50.50	0.48%	0.48%	99.52%
1"	25	56.40	0.54%	1.02%	98.98%
3/4"	19	288.00	2.74%	3.76%	96.24%
1/2"	12.5	735.10	6.99%	10.75%	89.25%
3/8"	9.5	641.70	6.11%	16.86%	83.14%
N° 4	4.75	1574.60	14.98%	31.84%	68.16%
<b>Pasa N° 4</b>		<b>7163.70</b>			
N° 10	2	306.10	19.04%	50.88%	49.12%
N° 16	1.18	130.40	8.11%	58.99%	41.01%
N° 40	0.425	235.80	14.67%	73.65%	26.35%
N° 100	0.15	254.70	15.84%	89.50%	10.50%
N° 200	0.075	84.00	5.22%	94.72%	5.28%
Pasa N° 200		84.90	5.28%	100.00%	0.00%
<b>Suma de finos</b>		<b>1095.90</b>			

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**  
**ASTM D 422**

Proyecto: <b>Trabajo de Graduación</b>	Fecha: <b>5 de mayo de 2014</b>
Ubicación: <b>Volcán Chaparrastique</b>	Laboratorista: <b>Grupo de tesis</b>
<b>Comunidad Los Carretos, San Miguel</b>	Elaboró: <b>Grupo de tesis</b>
Peso de la muestra (g): <b>10510</b>	Hoja N°: <b>2/2</b>
Muestra N°: <b>1</b>	Espécimen N°: <b>1</b>



**D60 = 3.30**  
**D30 = 0.58**  
**D10 = 0.17**

<b>Cu = 19.41</b>
<b>Cc = 0.60</b>



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**  
**ASTM D 422**

Proyecto: **Trabajo de Graduación** Fecha: **6 de mayo de 2014**  
 Ubicación: **Quebrada Hércules, Cantón Conacastal** Laboratorista: **Grupo de tesis**  
**Chinameca, San Miguel** Elaboró: **Grupo de tesis**  
 Peso de la muestra (g): **5605** Hoja N°: **1/2**  
 Muestra N°: **2** Espécimen N°: **1**

Fracción	Peso (g)	Porcentaje
G: Retenida N° 4	1799.90	32.11%
A: Pasa N° 4	3805.10	67.89%
Total	5605.00	100.00%

G: Gravas A: Arenas

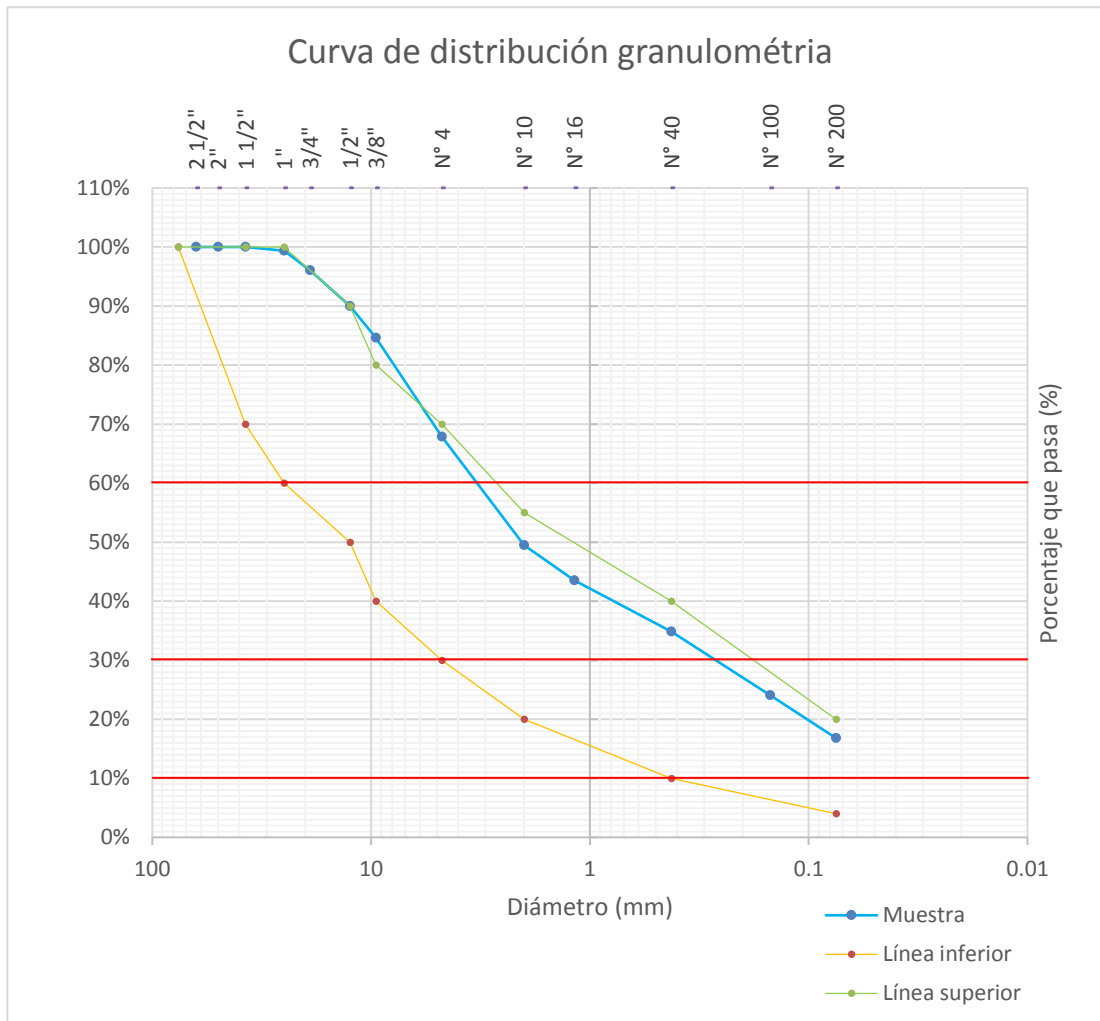
Malla	Tamaño (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
2 1/2"	63	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	37.5	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	36.50	0.65%	0.65%	99.35%
3/4"	19	183.10	3.27%	3.92%	96.08%
1/2"	12.5	340.20	6.07%	9.99%	90.01%
3/8"	9.5	302.10	5.39%	15.38%	84.62%
N° 4	4.75	938.00	16.74%	32.11%	67.89%
<b>Pasa N° 4</b>		<b>3805.10</b>			
N° 10	2	145.50	18.38%	50.49%	49.51%
N° 16	1.18	47.40	5.99%	56.48%	43.52%
N° 40	0.425	68.60	8.66%	65.14%	34.86%
N° 100	0.15	85.30	10.77%	75.91%	24.09%
N° 200	0.075	57.60	7.28%	83.19%	16.81%
Pasa N° 200		133.10	16.81%	100.00%	0.00%
<b>Suma de finos</b>		<b>537.50</b>			

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO  
ASTM D 422**

Proyecto: <b>Trabajo de Graduación</b>	Fecha: <b>6 de mayo de 2014</b>
Ubicación: <b>Quebrada Hércules, Cantón Conacastal</b>	Laboratorista: <b>Grupo de tesis</b>
<b>Chinameca, San Miguel</b>	Elaboró: <b>Grupo de tesis</b>
Peso de la muestra (g): <b>5605</b>	Hoja N°: <b>2/2</b>
Muestra N°: <b>2</b>	Espécimen N°: <b>1</b>





**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**  
**ASTM D 422**

Proyecto: **Trabajo de Graduación** Fecha: **7 de mayo de 2014**  
 Ubicación: **Volcán Chaparrastique** Laboratorista: **Grupo de tesis**  
**Comunidad Los Carretos, San Miguel** Elaboró: **Grupo de tesis**  
 Peso de la muestra (g): **5450** Hoja N°: **1/2**  
 Muestra N°: **3** Espécimen N°: **1**

Fracción	Peso (g)	Porcentaje
G: Retenida N° 4	2417.90	44.37%
A: Pasa N° 4	3032.10	55.63%
Total	5450.00	100.00%

G: Gravas A: Arenas

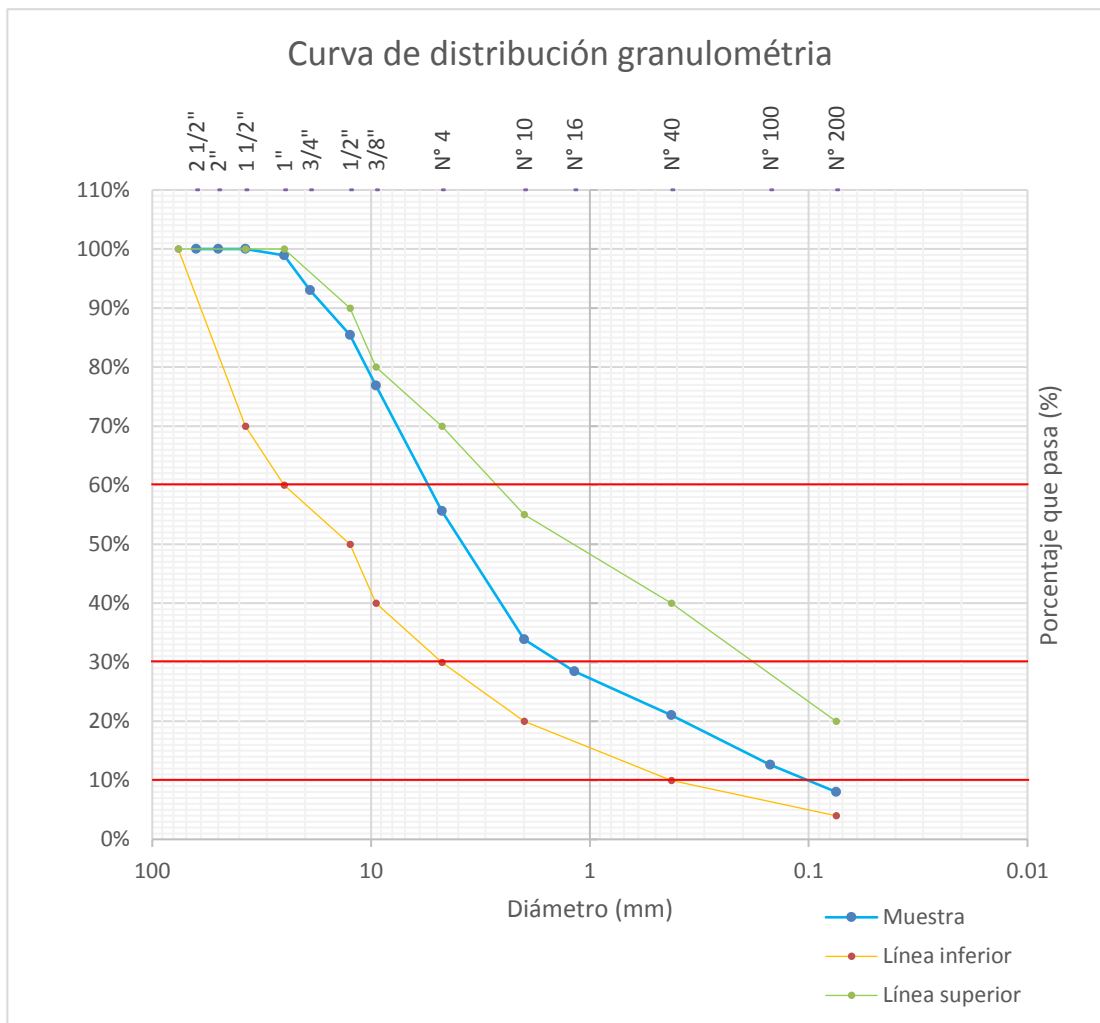
Malla	Tamaño (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
2 1/2"	63	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	37.5	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	57.50	1.06%	1.06%	98.94%
3/4"	19	322.70	5.92%	6.98%	93.02%
1/2"	12.5	414.30	7.60%	14.58%	85.42%
3/8"	9.5	465.40	8.54%	23.12%	76.88%
N° 4	4.75	1158.00	21.25%	44.37%	55.63%
<b>Pasa N° 4</b>		<b>3032.10</b>			
N° 10	2	260.00	21.74%	66.10%	33.90%
N° 16	1.18	65.20	5.45%	71.55%	28.45%
N° 40	0.425	88.50	7.40%	78.95%	21.05%
N° 100	0.15	100.90	8.44%	87.38%	12.62%
N° 200	0.075	54.80	4.58%	91.97%	8.03%
Pasa N° 200		96.10	8.03%	100.00%	0.00%
<b>Suma de finos</b>		<b>665.50</b>			

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**  
**ASTM D 422**

Proyecto: <b>Trabajo de Graduación</b>	Fecha: <b>7 de mayo de 2014</b>
Ubicación: <b>Volcán Chaparrastique</b>	Laboratorista: <b>Grupo de tesis</b>
<b>Comunidad Los Carretos, San Miguel</b>	Elaboró: <b>Grupo de tesis</b>
Peso de la muestra (g): <b>5450</b>	Hoja N°: <b>2/2</b>
Muestra N°: <b>3</b>	Espécimen N°: <b>1</b>



**D60 = 5.50**  
**D30 = 1.40**  
**D10 = 0.1**

<b>Cu = 55.00</b>
<b>Cc = 3.56</b>





**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**  
**ASTM D 422**

Proyecto:	Trabajo de Graduación	Fecha:	8 de mayo de 2014
Ubicación:	Volcán Chaprrastique	Laboratorista:	Grupo de tesis
	Comunidad Los Carretos, San Miguel	Elaboró:	Grupo de tesis
Peso de la muestra (g):	5715	Hoja N°:	1/2
Muestra N°:	4	Espécimen N°:	1

Fracción	Peso (g)	Porcentaje
G: Retenida N° 4	1944.10	34.02%
A: Pasa N° 4	3770.90	65.98%
<b>Total</b>	<b>5715.00</b>	<b>100.00%</b>

G: Gravas    A: Arenas

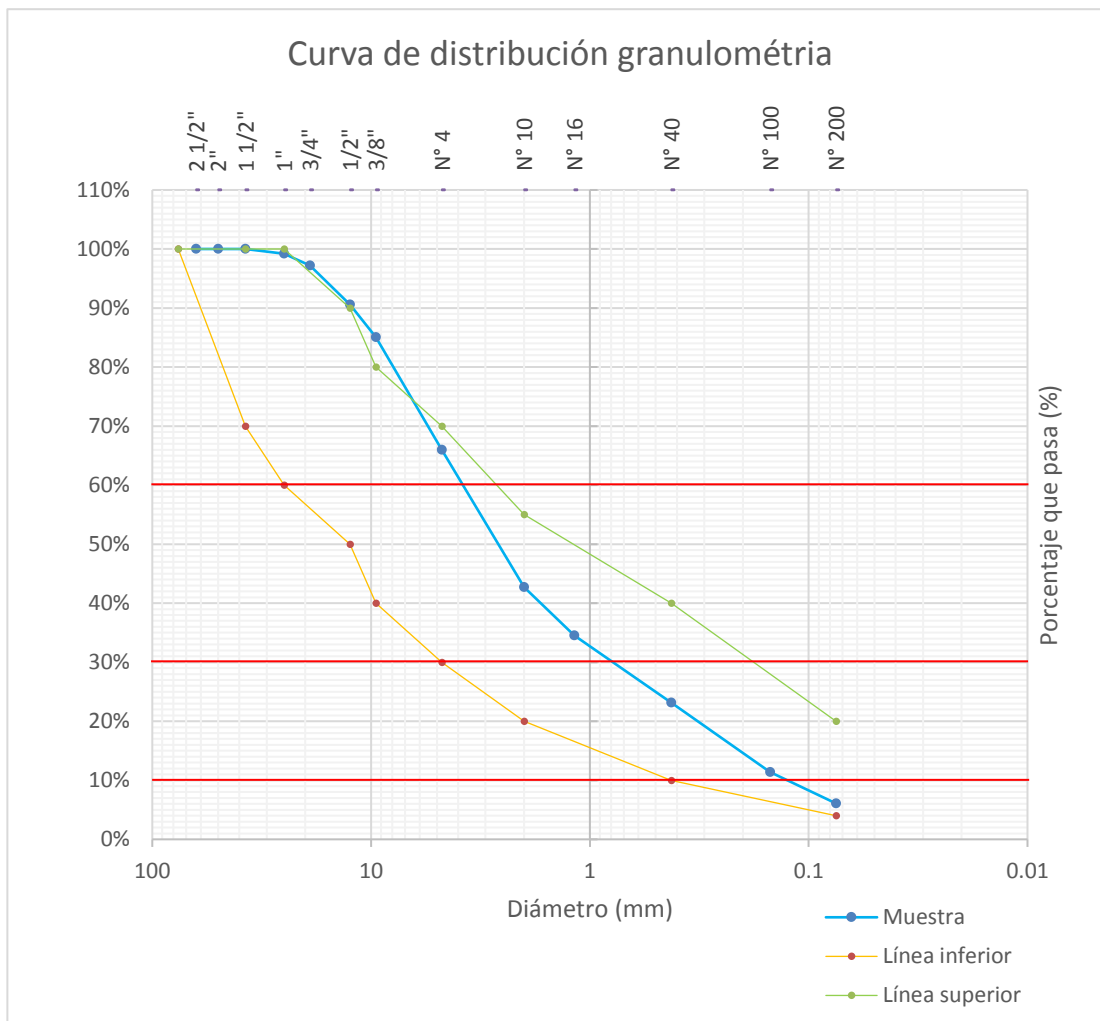
Malla	Tamaño (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
2 1/2"	63	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	37.5	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	44.10	0.77%	0.77%	99.23%
3/4"	19	116.20	2.03%	2.80%	97.20%
1/2"	12.5	378.40	6.62%	9.43%	90.57%
3/8"	9.5	314.10	5.50%	14.92%	85.08%
N° 4	4.75	1091.30	19.10%	34.02%	65.98%
<b>Pasa N° 4</b>		<b>3770.90</b>			
N° 10	2	300.40	23.27%	57.29%	42.71%
N° 16	1.18	105.60	8.18%	65.47%	34.53%
N° 40	0.425	147.10	11.40%	76.87%	23.13%
N° 100	0.15	151.40	11.73%	88.60%	11.40%
N° 200	0.075	68.70	5.32%	93.92%	6.08%
Pasa N° 200		78.50	6.08%	100.00%	0.00%
<b>Suma de finos</b>		<b>851.70</b>			

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO  
 ASTM D 422**

Proyecto:	<b>Trabajo de Graduación</b>	Fecha:	<b>8 de mayo de 2014</b>
Ubicación:	<b>Volcán Chapprastique Comunidad Los Carretos, San Miguel</b>	Laboratorista:	<b>Grupo de tesis</b>
Peso de la muestra (g):	<b>5605</b>	Elaboró:	<b>Grupo de tesis</b>
Muestra N°:	<b>4</b>	Hoja N°:	<b>2/2</b>
		Espécimen N°:	<b>1</b>



**D60 = 3.90**  
**D30 = 0.80**  
**D10 = 0.13**

<b>Cu = 30.00</b>
<b>Cc = 1.26</b>



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**  
**ASTM D 422**

Proyecto: **Trabajo de Graduación** Fecha: **9 de mayo 2014**  
 Ubicación: **Volcán Chaparrastique** Laboratorist **Grupo de tesis**  
**Comunidad Los Carretos, San Mig** Elaboró: **Grupo de tesis**  
 Peso de la muestra (g): **5440** Hoja N°: **1/2**  
 Muestra N°: **5** Espécimen N°: **1**

Fracción	Peso (g)	Porcentaje
G: Retenida N° 4	1494.00	27.46%
A: Pasa N° 4	3946.00	72.54%
Total	5440.00	100.00%

G: Gravas A: Arenas

Malla	Tamaño (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
2 1/2"	63	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	37.5	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	43.90	0.81%	0.81%	99.19%
3/4"	19	62.00	1.14%	1.95%	98.05%
1/2"	12.5	293.50	5.40%	7.34%	92.66%
3/8"	9.5	310.20	5.70%	13.04%	86.96%
N° 4	4.75	784.40	14.42%	27.46%	72.54%
<b>Pasa N° 4</b>		<b>3946.00</b>			
N° 10	2	243.40	18.50%	45.96%	54.04%
N° 16	1.18	97.80	7.43%	53.40%	46.60%
N° 40	0.425	172.20	13.09%	66.48%	33.52%
N° 100	0.15	221.90	16.86%	83.35%	16.65%
N° 200	0.075	99.90	7.59%	90.94%	9.06%
Pasa N° 200		119.20	9.06%	100.00%	0.00%
<b>Suma de finos</b>		<b>954.40</b>			

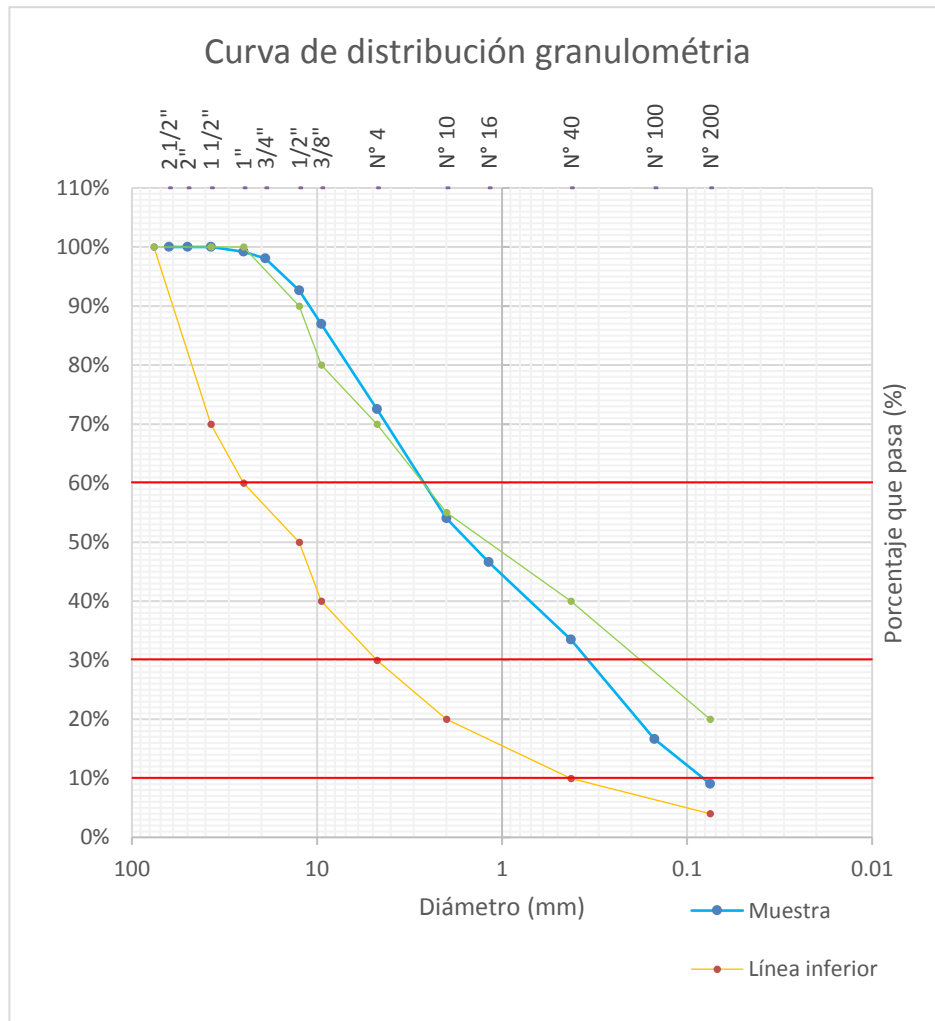
OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**  
**ASTM D 422**

Proyecto: **Trabajo de Graduación**      Fecha: **9 de mayo 2014**  
 Ubicación: **Volcán Chaparrastique**      Laboratorist **Grupo de tesis**  
                  **Comunidad Los Carretos, San Mig**      Elaboró: **Grupo de tesis**  
 Peso de la muestra (g): **5605**      Hoja N°: **2/2**  
 Muestra N°: **5**      Espécimen  $\uparrow$  **1**

3"  
1 1/2"  
1"  
1/2"  
3/8"  
# 4  
# 10  
# 40  
# 200



**D60 = 2.80**  
**D30 = 0.35**  
**D10 = 0.082**

<b>Cu = 34.15</b>
<b>Cc = 0.53</b>



**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM D 3080**

Proyecto: **Trabajo de Graduación** Fecha: **20 de mayo de 2014**  
 Ubicación: **Volcán Chaparrastique** Laboratorista **Grupo de tesis**  
**Comunidad Los Carretos, San Miguel** Elaboró: **Grupo de tesis**  
 Ensayo N°: Hoja N°: **1/4**  
 Muestra N°: **1** Espécimen N **1**

**Datos de la Muestra**

Lado (cm):	<b>10.0</b>
Altura(cm):	
Área(cm <sup>2</sup> ):	<b>100.0</b>
Volumen (cm <sup>3</sup> )	<b>327.4</b>
Peso de la muestra (grs):	<b>436.0</b>
Densidad (grs/cm <sup>3</sup> ):	<b>1.332</b>
Humedad de la muestra (ω%)	<b>9.012</b>

**Datos del Ensayo**

Carga Normal (Kg):	<b>11.0</b>
Veloc. De corte (mm/mín):	1.0
Esfuerzo Normal (Kg/cm <sup>2</sup> ):	0.11
e. Del anillo de carga (Kg/t)	<b>0.15625</b>
te. De deformímetro (mm/u)	<b>0.025</b>

Tiempo (s)	Lectura del deformímetro		Desplazamiento (cm)	Fuerza de corte	Esfuerzo cortante
	Carga	Horizontal			
15	<b>10</b>	<b>9</b>	0.02	1.6	0.016
30	<b>12</b>	<b>18</b>	0.05	1.9	0.019
45	<b>23</b>	<b>28</b>	0.07	3.6	0.036
60	<b>48</b>	<b>39</b>	0.10	7.5	0.075
75	<b>58</b>	<b>50</b>	0.13	9.1	0.091
90	<b>63</b>	<b>61</b>	0.15	9.8	0.098
105	<b>66</b>	<b>71</b>	0.18	10.3	0.103
120	<b>69</b>	<b>84</b>	0.21	10.8	0.108
135	<b>70</b>	<b>94</b>	0.24	10.9	0.109
150	<b>70</b>	<b>103</b>	0.26	10.9	0.109
165	<b>70</b>	<b>111</b>	0.28	10.9	0.109
180	<b>70</b>	<b>121</b>	0.30	10.9	0.109
195	<b>71</b>	<b>130</b>	0.33	11.1	<b>0.111</b>
210	<b>71</b>	<b>140</b>	0.35	11.1	0.111

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM D 3080**

Proyecto: **Trabajo de Graduación** Fecha: **20 de mayo de 2014**  
 Ubicación: **Volcán Chaparrastique** Laboratorista **Grupo de tesis**  
**Comunidad Los Carretos, San Miguel** Elaboró: **Grupo de tesis**  
 Ensayo N°: Hoja N°: **2/4**  
 Muestra N°: **1** Espécimen N **2**

**Datos de la Muestra**

Lado (cm):	<b>10.0</b>
Altura(cm):	
Área(cm <sup>2</sup> ):	<b>100.0</b>
Volumen (cm <sup>3</sup> )	<b>349.4</b>
Peso de la muestra (grs):	<b>446.0</b>
Densidad (grs/cm <sup>3</sup> ):	<b>1.277</b>
Humedad de la muestra (ω%)	<b>8.600</b>

**Datos del Ensayo**

Carga Normal (Kg):	<b>16.0</b>
Veloc. De corte (mm/mín):	1.0
Esfuerzo Normal (Kg/cm <sup>2</sup> ):	0.16
te. Del anillo de carga (Kg/t)	<b>0.15625</b>
te. De deformímetro (mm/u)	<b>0.025</b>

Tiempo (s)	Lectura del deformímetro		Desplazamiento (cm)	Fuerza de corte	Esfuerzo cortante
	Carga	Horizontal			
15	<b>8</b>	<b>11</b>	0.03	1.3	0.013
30	<b>20</b>	<b>19</b>	0.05	3.1	0.031
45	<b>50</b>	<b>31</b>	0.08	7.8	0.078
60	<b>64</b>	<b>42</b>	0.11	10.0	0.100
75	<b>74</b>	<b>55</b>	0.14	11.6	0.116
90	<b>78</b>	<b>66</b>	0.17	12.2	0.122
105	<b>82</b>	<b>81</b>	0.20	12.8	0.128
120	<b>85</b>	<b>90</b>	0.23	13.3	0.133
135	<b>86</b>	<b>104</b>	0.26	13.4	0.134
150	<b>86</b>	<b>114</b>	0.29	13.4	0.134
165	<b>87</b>	<b>125</b>	0.31	13.6	0.136
180	<b>87</b>	<b>135</b>	0.34	13.6	0.136
195	<b>88</b>	<b>145</b>	0.36	13.8	<b>0.138</b>
210	<b>88</b>	<b>155</b>	0.39	13.8	0.138
225	<b>87</b>	<b>165</b>	0.41	13.6	0.136

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM D 3080**

Proyecto: **Trabajo de Graduación** Fecha: **20 de mayo de 2014**  
 Ubicación: **Volcán Chaparrastique** Laboratorista **Grupo de tesis**  
**Comunidad Los Carretos, San Miguel** Elaboró: **Grupo de tesis**  
 Ensayo N°: Hoja N°: **3/4**  
 Muestra N°: **1** Espécimen N **3**

**Datos de la Muestra**

Lado (cm):	10.0
Altura(cm):	
Área(cm <sup>2</sup> ):	100.0
Volumen (cm <sup>3</sup> )	346.1
Peso de la muestra (grs):	458.0
Densidad (grs/cm <sup>3</sup> ):	1.323
Humedad de la muestra (ω%)	9.472

**Datos del Ensayo**

Carga Normal (Kg):	21.0
Veloc. De corte (mm/mín):	1.0
Esfuerzo Normal (Kg/cm <sup>2</sup> ):	0.21
e. Del anillo de carga (Kg/t)	0.15625
te. De deformímetro (mm/u)	0.025

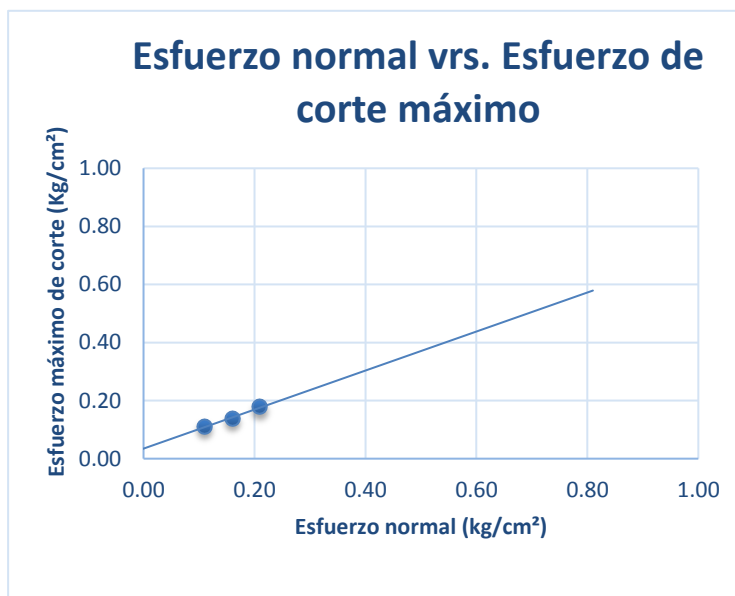
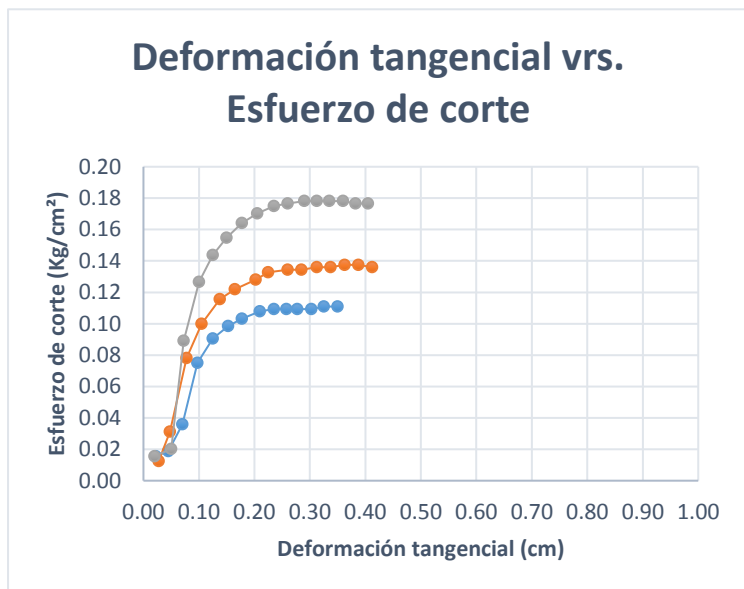
Tiempo (s)	Lectura del deformímetro		Desplazamiento (cm)	Fuerza de corte	Esfuerzo cortante
	Carga	Horizontal			
15	10	8	0.02	1.6	0.016
30	13	20	0.05	2.0	0.020
45	57	29	0.07	8.9	0.089
60	81	40	0.10	12.7	0.127
75	92	50	0.13	14.4	0.144
90	99	60	0.15	15.5	0.155
105	105	71	0.18	16.4	0.164
120	109	82	0.21	17.0	0.170
135	112	94	0.24	17.5	0.175
150	113	104	0.26	17.7	0.177
165	114	116	0.29	17.8	0.178
180	114	125	0.31	17.8	0.178
195	114	134	0.34	17.8	0.178
210	114	144	0.36	17.8	0.178
225	113	153	0.38	17.7	0.177
240	113	162	0.41	17.7	0.177

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
 ASTM D 3080**

Proyecto: **Trabajo de Graduación** Fecha: **20 de mayo de 2014**  
 Ubicación: **Volcán Chaparrastique** Laboratorista **Grupo de tesis**  
**Comunidad Los Carretos, San Miguel** Elaboró: **Grupo de tesis**  
 Ensayo N°: Hoja N°: **4/4**  
 Muestra N°: **1** Espécimen N°:



**Resultados**

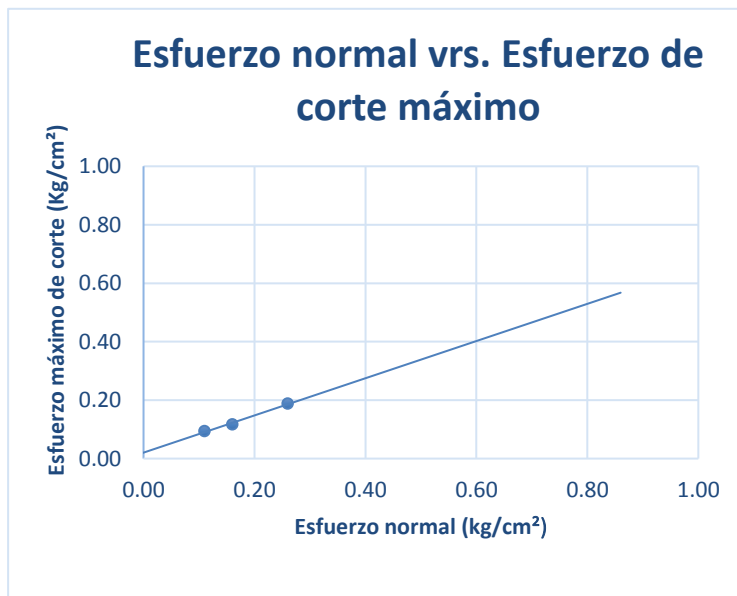
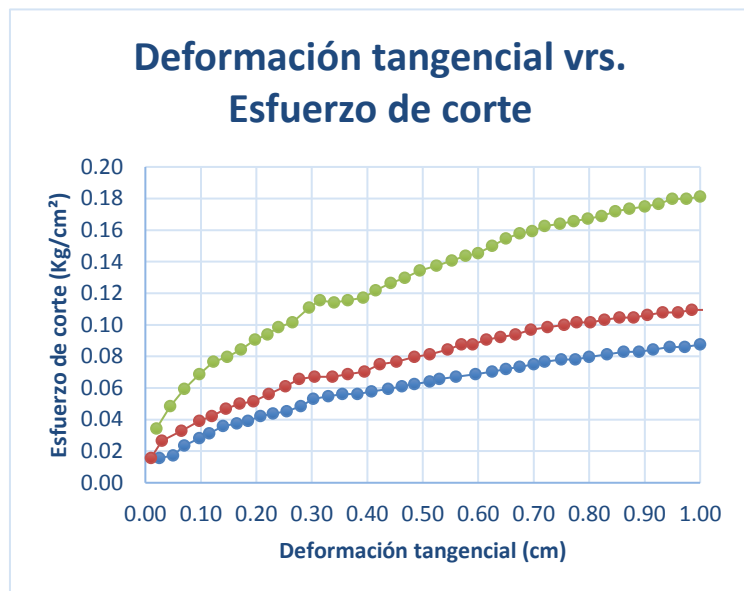
Cohesión:  
 $C = 0.0347$   
 Ángulo de fricción:  
 $\phi = 33.9$





**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**  
**ASTM D 3080**

Proyecto: **Trabajo de Graduación** Fecha: **23 de mayo de 2014**  
 Ubicación: **Quebrada Hércules, Cantón Conacast** Laboratorista **Grupo de tesis**  
**Chinameca, San Miguel** Elaboró: **Grupo de tesis**  
 Ensayo N°: Hoja N°: **1/1**  
 Muestra N°: **2** Espécimen N°:



**Resultados**

Cohesión:

$$C = 0.0204$$

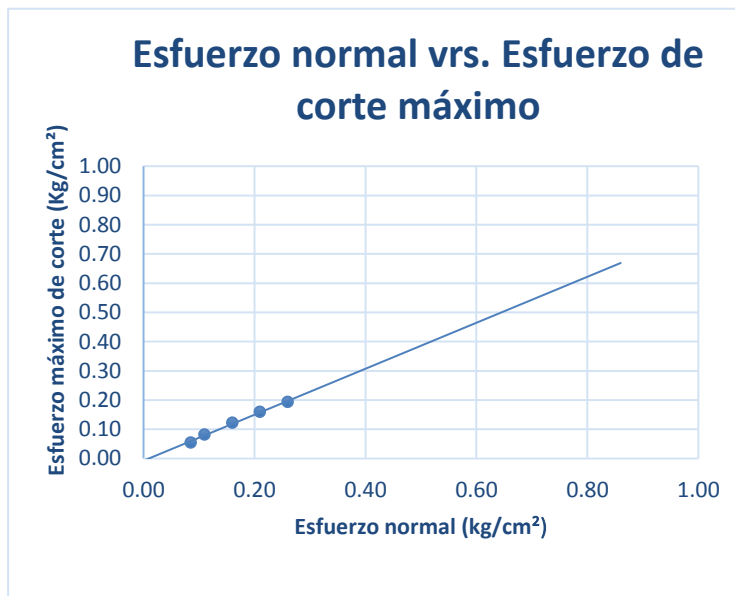
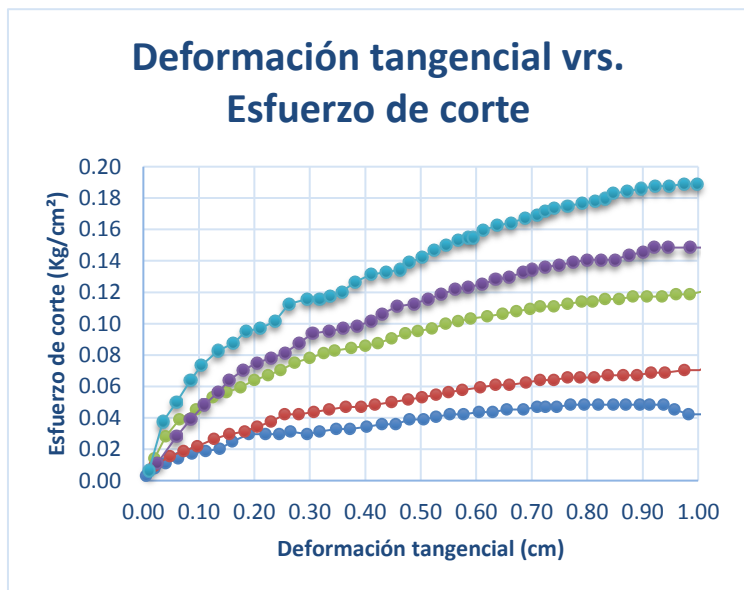
Ángulo de fricción:

$$\phi = 32.46$$



**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
 ASTM D 3080**

Proyecto:	<b>Trabajo de Graduación</b>	Fecha:	<b>26 de mayo de 2014</b>
Ubicación:	<b>Volcán Chaparrastique</b>	Laboratorista:	<b>Grupo de tesis</b>
	<b>Comunidad Los Carretos, San Miguel</b>	Elaboró:	<b>Grupo de tesis</b>
Ensayo N°:		Hoja N°:	<b>1/1</b>
Muestra N°:	<b>3</b>	Espécimen N°:	



**Resultados**

Cohesión:

$C = 0.00$

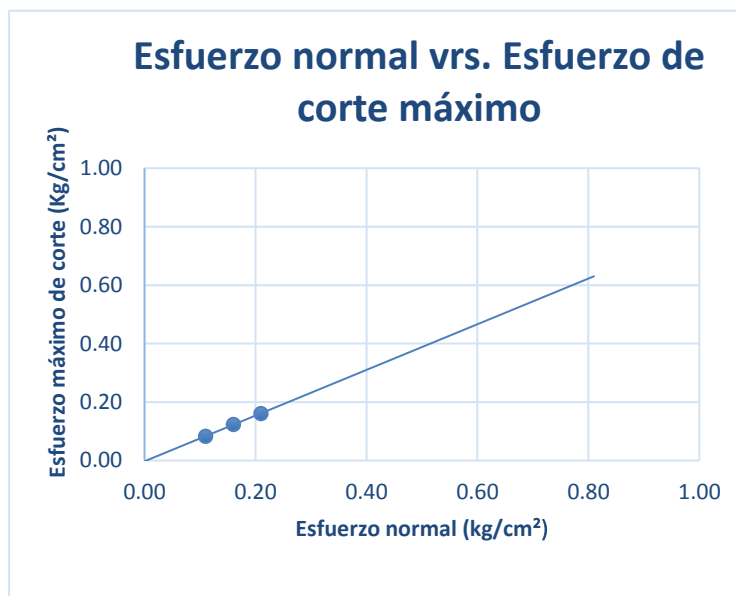
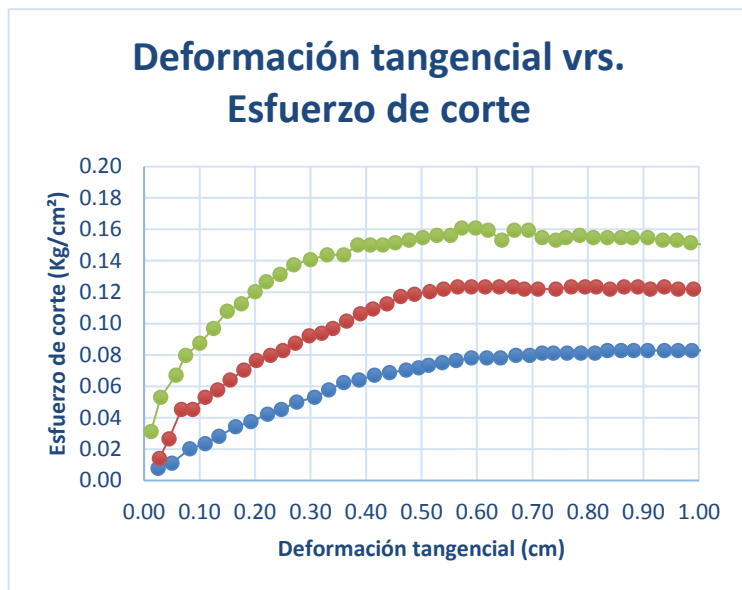
Ángulo de fricción:

$\phi = 38.2$



**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
 ASTM D 3080**

Proyecto:	<b>Trabajo de Graduación</b>	Fecha:	<b>27 de mayo de 2014</b>
Ubicación:	<b>Volcán Chaparrastique</b>	Laboratorista:	<b>Grupo de tesis</b>
	<b>Comunidad Los Carretos, San Miguel</b>	Elaboró:	<b>Grupo de tesis</b>
Ensayo N°:		Hoja N°:	<b>1/1</b>
Muestra N°:	<b>4</b>	Espécimen N°:	



**Resultados**

Cohesión:

$C = 0.00$

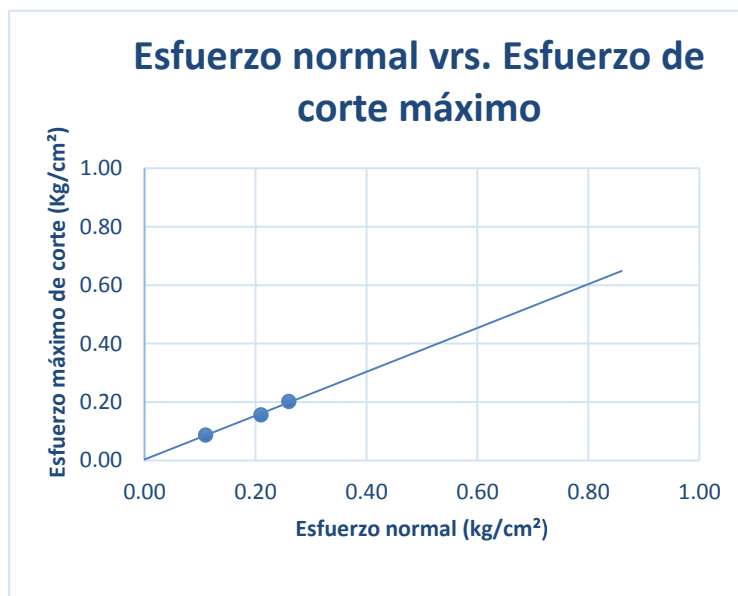
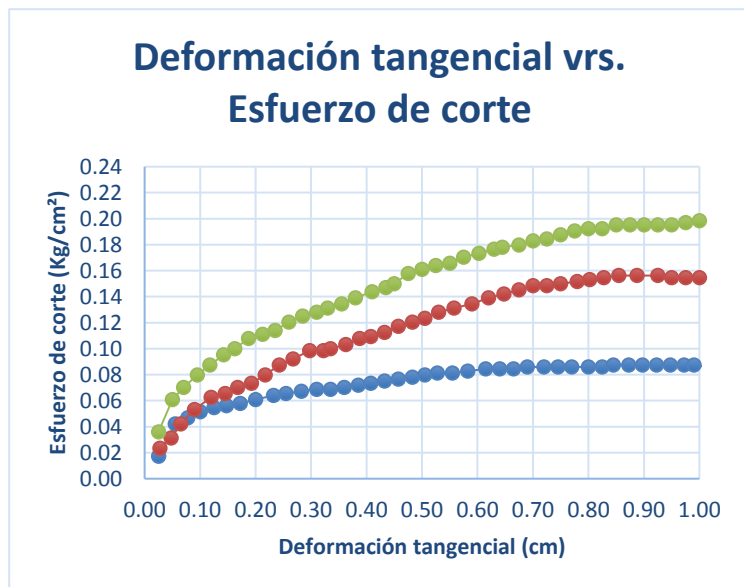
Ángulo de fricción:

$\phi = 38.0$



**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**  
**ASTM D 3080**

Proyecto: **Trabajo de Graduación** Fecha: **28 de mayo 2014**  
 Ubicación: **Volcán Chaparrastique** Laboratorista **Grupo de tesis**  
**Comunidad Los Carretos, San Miguel** Elaboró: **Grupo de tesis**  
 Ensayo N°: Hoja N°: **1/1**  
 Muestra N°: **5** Espécimen N°:



**Resultados**

Cohesión:

$$C = 0.0034$$

Ángulo de fricción:

$$\phi = 36.9$$

# ANEXO C

- **Anexo C1:** Hoja de evaluación de movimientos de ladera
- **Anexo C2:** Guía metodológica para llenado de ficha técnica
- **Anexo C3:** Censo poblacional en cantón El Volcán



HOJA DE EVALUACIÓN DE MOVIMIENTOS DE LADERA

Fecha \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ Hora \_\_\_\_\_ Número de ficha [ ]

Responsable de la inspección \_\_\_\_\_

Institución/organización \_\_\_\_\_

Proyecto \_\_\_\_\_

1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA\*

Coordenadas

X1 = Y1 = Z1 =
X2 = Y2 = Z2 =
X3 = Y3 = Z3 =

2. ZONA DEL LUGAR EVALUADO

Urbano ( ) Urbano consolidado ( ) Urbano no consolidado ( )
Rural aledaño a zonas urbanas ( ) Rural ( ) Rural no consolidado ( )

3. TIPO DE MOVIMIENTO:

Deslizamiento ( )
Desprendimiento o vuelco ( )
Flujo ( )
Complejo ( )

4. GEOLOGÍA GENERAL

Erosión:

Perceptible ( ) No perceptible ( )
En las pendientes de la ladera ( )
En los márgenes de la ladera ( )

Tipo de discontinuidades:

Fallas ( ) Grietas ( )

5. MORFOLOGÍA

Tipo de relieve:

Plana (pendiente de 0% a 2%) ( ) Ondulado (pendiente de 3% a 12%) ( )
Alomado a quebrado (pendiente de 13% a 35%) ( )
Accidentado (pendiente de 36% a 70%) ( )
Muy accidentado (pendiente mayor de 70%) ( )

Descripción

Three horizontal lines for description

Uso del suelo:

Agricultura ( ) Ganadería ( ) Otros \_\_\_\_\_

Forma de la ladera:

\*NOTA: No llenar campo si no está seguro de la respuesta



Cóncava ( )      Convexa ( )      Plana ( )      Combinada ( )

**6. HIDROLOGÍA**

*Humedad:*

Seco ( )      Húmedo ( )      Mojado ( )      Muy mojado ( )

*Agua superficial:*

Quebradas ( )      Riachuelos ( )      Nacimientos ( )

**7. CONDICIONES TOPOGRÁFICAS Y GEOMÉTRICAS\***

Altura de la corona \_\_\_\_\_ (msnm)      Altura del talud (T) \_\_\_\_\_ (m)

*Medidas de la superficie de ruptura:*

Ancho (A) \_\_\_\_\_ (m)

Largo (L) \_\_\_\_\_ (m)

Espesor (E) \_\_\_\_\_ (m)

Volumen estimado (AxLxE) \_\_\_\_\_ (m3)

**8. MATERIAL DESLIZADO**

Suelos ( )

Rocas ( )

Relleno ( )

Basura y ripio ( )

Árboles ( )

Otros \_\_\_\_\_

Superficie de afectación: Ancho(a) \_\_\_\_\_ (m)      Largo (l) \_\_\_\_\_ (m)

Área (a\*l) \_\_\_\_\_ (m2)

Ocupando cauce de río o quebrada ( )

Permanece (SI) (NO)

Viabilidad de movilizar el material (palas, máquina...) \_\_\_\_\_

**9. ESTADO DE ACTIVIDAD**

Activo ( )

Reactivo ( )

Suspendido ( )

Inactivo ( )

Reposo ( )

Estabilizado ( )

**10. GRADO DE ESTABILIDAD**

Activo ( )

Estable ( )

Latente ( )

Equilibrio estricto ( )

Equilibrio critico ( )

**11. VELOCIDAD DEL MOVIMIENTO\***

Extremadamente rápido ( )      Muy rápido ( )      Rápido ( )

Moderado ( )      Lento ( )

Extremadamente lento ( )

**12. FACTORES GENERADORES\***

*Factores Naturales:*

*Factores Antrópicos:*

\*NOTA: No llenar campo si no está seguro de la respuesta



Escorrentía Superficial ( ) Cortes de caminos y/o construcción ( )  
 Lluvias ( ) Drenajes ( )  
 Sismos ( ) Acumulación de sobrecargas ( )  
 Otros \_\_\_\_\_

Comentarios \_\_\_\_\_

**13. EVALUACIÓN DE DAÑOS (poner la cantidad en los casos que se conozca el dato)**

Carreteras/caminos ( ) Viviendas ( )  
 Acueductos ( ) Tendido eléctrico ( )  
 Personas heridas Hom ( ) Muj ( ) Personas fallecidas Hom ( ) Muj ( )  
 Cultivos ( )

Otros \_\_\_\_\_

Comentarios \_\_\_\_\_

**14. ELEMENTOS EXPUESTOS (poner la cantidad en los casos que se conozca el dato)**

Carreteras/caminos ( ) Viviendas ( )  
 Acueductos ( ) Tendido eléctrico ( )  
 Personas heridas Hom ( ) Muj ( ) Cultivos ( )

Otros \_\_\_\_\_

Comentarios \_\_\_\_\_

**15. MEDIDAS DE PRECAUCIÓN REALIZADAS**

Evacuación de la zona afectada ( ) Desalojo del material deslizado ( )  
 Cubrir el talud con plástico ( ) Señales de precaución ( )

Otros \_\_\_\_\_

**16. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN\***

Conformación del talud ( ) Construcción de muros/gaviones ( )  
 Reforestación ( ) Construcción de drenajes ( )  
 Instalación de SAT ( )

Otros \_\_\_\_\_

**17. ANTECEDENTES**

Ha ocurrido antes otro deslizamiento en el mismo lugar o cerca del mismo ( )

En el caso que sea cerca, ¿a qué distancia? \_\_\_\_\_ (m)

\*NOTA: No llenar campo si no está seguro de la respuesta





## 18. ESTIMACIÓN DE AMENAZA DE DESLIZAMIENTO DE LADERAS

### 18.1 Condiciones topográficas

Factor	Categoría	Valoración	
Pendiente del talud o ladera	Más de 45°	2.00	
	35° a 45°	1.60	
	25° a 35°	1.20	
	15° a 25 °	0.80	
	Menos de 15°	0.40	
Altura del talud o ladera	Más de 200 m	1.50	
	100 a 200 m	1.25	
	50 a 100 m	0.75	
	Menos de 50 m	0.50	

### 18.2 Condiciones históricas

Antecedentes de deslizamientos	Sí, incluso con fechas	1.00	
	Sí, sin tener en cuenta detalles	0.60	
	No se sabe	0.30	

### 18.3 Factores geotécnicos

Tipo de suelos o rocas	Suelos granulares	1.50	
	Rocas metamórficas	1.20	
	Suelos arcillosos	0.90	
	Rocas sedimentarias	0.60	
	Rocas ígneas	0.30	

### 18.4 Factores geomorfológicos

Evidencia de grietas en laderas contiguas	Grandes volúmenes faltantes	1.00	
	Volúmenes moderados	0.50	
	Inexistentes	0.00	
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	0.50	
	Nivel freático inexistente	0.00	
	Zanjas o depresiones donde se acumule	0.50	

### 18.5 Factores ambientales

Tipo de cobertura	Cultivos anuales	1.00	
	Pastos	0.67	
	Bosques	0.33	
Uso de suelos	Zona urbana	1.50	
	Área deforestada	1.50	
	Vegetación moderada	1.00	
	Vegetación intensa	0.50	

Sumatoria	
-----------	--



### 18.6 ESTIMACIÓN DEL GRADO DE LA AMENAZA DE DESLIZAMIENTO DE LA LADERA

Grado	Descripción	Suma de las calificaciones
1	Amenaza súper crítica	Más de 7
2	Amenaza crítica	6 a 7
3	Amenaza moderada	5 a 6
4	Amenaza baja	3.5 a 5
5	Amenaza muy baja	Menos de 3.5

### 19. ESTIMACIÓN DE VULNERABILIDAD POR DESLIZAMIENTO DE LADERAS

#### 19.1 Vulnerabilidad física (población)

Factor	Categoría	Valoración
Número de familias afectadas	Más de 8	1.50
	6-7	1.15
	5-6	0.75
	3-4	0.40
	0-2	0.00
Tipo de construcción de viviendas (mayor porcentaje)	Bahareque	1.00
	Tabla	0.75
	Adobe	0.50
	Ladrillo	0.25
	Bloque	0.00
Porcentaje de población con acceso a albergues en caso de emergencia	De 0% a 19.99%	0.50
	De 20% a 39.99%	0.35
	De 40% a 59.99%	0.25
	De 60% a 79.99%	0.15
	De 80% a 100%	0.00
Vías de acceso hacia la comunidad	Difícil acceso todo el año	1.00
	Acceso durante cinco meses al año	0.75
	Acceso durante ocho meses al año	0.50
	Acceso durante diez meses al año	0.25
	Fácil acceso todo el año	0.00

#### 19.2 Vulnerabilidad social

Factor	Categoría	Valoración
Organización comunal (cantidad de organizaciones)	0	1.00
	1	0.75
	2	0.50
	3	0.25
	4 o más	0.00

\*NOTA: No llenar campo si no está seguro de la respuesta



Instituciones presentes en la zona	0	0.50	
	1	0.35	
	2	0.25	
	3	0.15	
	4 o más	0.00	
Ubicación de servicio de salud	Más de 8 km	1.00	
	6 km -8 km	0.75	
	4 km- 6 km	0.50	
	2 km- 4 km	0.25	
	Menos de 2 km	0.00	
Tipo de servicio de salud	Ninguno	0.50	
	Casa de salud	0.35	
	Equipo comunitario de salud (ECOS)	0.25	
	Unidad comunitaria de salud familiar	0.15	
	Hospital	0.00	

### 19.3 Vulnerabilidad económica

Factor	Categoría	Valoración	
Desarrollo económico (Ingreso per cápita)	Menos de \$200	1.00	
	De \$200 a \$300	0.75	
	De \$300 a \$400	0.50	
	De \$400 a \$600	0.25	
	Más de \$600	0.00	
Desempleo	Más de 20%	1.00	
	De 15% a 19.99%	0.75	
	De 10% a 14.99%	0.50	
	De 5% a 9.99%	0.25	
	Menos de 5%	0.00	
Acceso a servicios públicos	Menos de 20%	1.00	
	De 20% a 39.99%	0.75	
	De 40% a 59.99%	0.50	
	De 60% a 79.99%	0.25	
	Más de 80%	0.00	

Sumatoria	
-----------	--



#### 19.4 ESTIMACIÓN DEL GRADO DE LA VULNERABILIDAD POR DESLIZAMIENTO DE LA LADERA

Grado	Descripción	Suma de las calificaciones
1	Vulnerabilidad súper crítica	Más de 7
2	Vulnerabilidad crítica	6 a 7
3	Vulnerabilidad moderada	5 a 6
4	Vulnerabilidad baja	3.5 a 5
5	Vulnerabilidad muy baja	Menos de 3.5

#### 20. ESTIMACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE LADERAS

Se considera que el riesgo es la multiplicación de la amenaza por la vulnerabilidad

Sumatoria de calificación de amenaza

Sumatoria de calificación de vulnerabilidad

Riesgo= amenaza \* vulnerabilidad

Grado	Descripción	Suma de las calificaciones	Color indicador
1	Riesgo súper crítico	Más de 70	
2	Riesgo crítico	60 a 70	
3	Riesgo moderado	50 a 60	
4	Riesgo bajo	35 a 50	
5	Riesgo muy bajo	Menos de 35	

#### 21. CROQUIS.

Haga un diagrama en planta y perfil del deslizamiento, indicando la situación de las medidas tomadas.

## GUÍA METODOLÓGICA PARA EL LLENADO DE LA FICHA TÉCNICA PARA LA EVALUACIÓN DE MOVIMIENTOS DE LADERA

La ficha técnica se ha dividido en dos secciones:

### Sección cualitativa:

Comprende desde el apartado N° 1 hasta el N° 17, y en ella se realiza la descripción de las características del fenómeno. No se trata de probar o de medir en qué grado una cierta característica incide en el fenómeno, sino de descubrir tantas características como sea posible.

### Sección cuantitativa:

Comprende desde el apartado N° 18 hasta el N° 20; en esta sección se pretende decidir entre ciertas alternativas que influyen en un movimiento de ladera o talud, y asignarles magnitudes numéricas que pueden ser tratadas mediante herramientas del campo de la estadística, lo que finalmente nos permitirá cuantificar el riesgo.

Sección cualitativa explicación por apartado

En los apartados de la ficha donde aparecen espacios para OTROS y COMENTARIOS se sugiere anotar todo aquello que no esté incluido y forme parte del punto que estamos evaluando. Es importante tener en cuenta que las opciones que se presentan son algunos ejemplos habituales, pero cada punto tiene sus particularidades y por tanto información que debemos incluir. En resumen, es una ficha abierta para anotar todas las indicaciones que se consideren importantes.

HOJA DE EVALUACIÓN DE MOVIMIENTOS DE LADERA		
Fecha _____/_____/_____	Hora _____	Número de ficha _____
Responsable de la inspección _____		
Institución/organización _____		
Proyecto _____		

Completar estos datos nos permite poder consultar a la persona que realizó la inspección cualquier duda sobre la información apuntada en la ficha.

El **número de ficha** se anotará en campo, de forma que el número que le pongamos corresponda con la numeración de los puntos que estamos situando en el mapa.

1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA		
Coordenadas		
X1 =	Y1 =	Z1 =
X2 =	Y2 =	Z2 =
X3 =	Y3 =	Z3 =

La **ubicación geográfica** determinada a través de las coordenadas es imprescindible; ya sea obtenida de ubicar el punto sobre un mapa o a través de un GPS. Si se dispone de un GPS tenemos referencias internacionales y localizables en cualquier mapa. Es importante anotar

## ANEXO C2

el sistema que estamos utilizando para luego poder transportarlas a la base cartográfica adecuada.

2. ZONA DEL LUGAR EVALUADO			
Urbano ( )	Urbano consolidado ( )	Urbano no consolidado ( )	
		Rural no consolidado ( )	
Rural aledaño a zonas urbanas ( )		Rural ( )	

Este apartado nos permite conocer la **zona de influencia** del movimiento de ladera o talud.

3. TIPO DE MOVIMIENTO:	
Deslizamiento ( )	
Desprendimiento o vuelco ( )	
Flujo ( )	
Complejo ( )	

Se debe de clasificar el **tipo de movimiento** de masa que se encuentra en proceso en la ladera o talud, según los parámetros siguientes:

**Deslizamiento:** son desplazamientos de masas de tierra o rocas por una pendiente en forma súbita o lenta. Si bien la gravedad que actúa sobre las laderas es la principal causa de un deslizamiento, su ocurrencia también depende de las siguientes variables: cantidad de lluvia, sismicidad, factores antrópicos etc.

**Desprendimiento o vuelco:** 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.

**Flujo:** Estos movimientos se producen en rocas, escombros y suelos; en los últimos dos casos están relacionados con una saturación de agua, principalmente en los períodos de lluvia intensa. El movimiento es demasiado rápido y peligroso; se desplaza como un fluido viscoso.

**Complejo:** Con mucha frecuencia los movimientos de un talud o ladera incluyen una combinación de dos o más de los principales tipos de desplazamiento descritos anteriormente, este tipo de movimientos se les denomina como “Complejo”.

4. GEOLOGÍA GENERAL			
Erosión:			
Perceptible ( )		No perceptible ( )	
En las pendientes de la ladera ( )			
En los márgenes de la ladera ( )			

Seleccionar el parámetro que mejor represente las condiciones de erosión en la ladera

Tipo de discontinuidades:	
Fallas ( )	Grietas ( )

Se seleccionara el **tipo de discontinuidad** según la descripción siguiente:

**Fallas:** fractura en el terreno a lo largo de la cual hubo movimiento de uno de los lados respecto del otro

## ANEXO C2

Grietas: son fisuras relativamente anchas respecto a su longitud, que se abren sobre la superficie del suelo o una roca

<b>5. MORFOLOGÍA</b>			
Tipo de relieve:			
Plana (pendiente de 0% a 2%)	( )	Ondulado (pendiente de 3% a 12%)	( )
Alomado a quebrado (pendiente de 13% -35%)	( )		
Accidentado (pendiente de 36% a 70%)	( )		
Muy accidentado (pendiente mayor de 70%)	( )		
Descripción			

**La morfología** se refiere a la forma de la ladera o talud en evaluación (relieve existente). El cual se determina en base a los parámetros de pendientes establecidas en la Ficha Técnica. Con la finalidad de brindar información completa se sugiere llenar el apartado DESCRIPCIÓN.

Uso del suelo:			
Agricultura	( )	Ganadería	( )
		Otros	

Agricultura: suelo dedicados al cultivo de alimentos vegetales como cereales, frutas, hortalizas, pastos cultivados y forrajes; fibras utilizadas por la industria textil; cultivos energéticos y tubérculos; cultivos permanentes (café), etc.

Ganadería: suelos dedicados a la producción de ganadería.

En caso de existir otro tipo de uso de suelo especificarlo en el apartado OTROS

Forma de la ladera:			
Cóncava	( )	Convexa	( )
Plana	( )	Combinada	( )

**La forma de la ladera** se seleccionara en base a las siguientes descripciones:

Cóncava: porción de terreno con pendiente entre el 5% y el 70% progresivamente descendiente con la altitud

Convexa: porción de terreno con pendiente entre el 5% y el 70% progresivamente ascendente con la altitud

Plana: porción de terreno con pendiente entre el 5% y el 70% y de forma recta

Combinada: porción de terreno con pendiente entre el 5% y el 70% y cuya forma no se ajusta a ninguna de las clasificaciones anteriores.

<b>6. HIDROLOGÍA</b>			
Humedad:			
Seco	( )	Húmedo	( )
Mojado	( )	Muy mojado	( )
Agua superficial:			
Quebradas	( )	Riachuelos	( )
Nacimientos	( )		

En este apartado evaluaremos el tipo de humedad que presenta la ladera o talud y si existe presencia de agua superficial.

## ANEXO C2

### 7. CONDICIONES TOPOGRÁFICAS Y GEOMÉTRICAS

Altura de la corona \_\_\_\_\_ (msnm) Altura del talud (T) \_\_\_\_\_ (m)

Medidas de la superficie de ruptura:

Ancho (A) \_\_\_\_\_ (m)

Largo (L) \_\_\_\_\_ (m)

Espesor (E) \_\_\_\_\_ (m)

Volumen estimado (A x L x E) \_\_\_\_\_ (m<sup>3</sup>)

**La altura de la corona** se tomara con referencia a los metros sobre el nivel del mar (msnm), ya sea con el altímetro de un GPS o mediante la localización del punto en el mapa topográfico y la referencia de la curva de nivel que más se aproxime a la corona.

**La altura del talud** la mediremos desde la parte más alta del talud (normalmente coincidente con la corona del deslizamiento si nos encontramos en taludes de calles, caminos,..) hasta la superficie horizontal al pie del talud.

La profundidad de rotura se asimila al parámetro de **espesor** (E) que aparece en la ficha, y mide verticalmente la profundidad del escarpe producido por la rotura de los materiales.

**El ancho** del movimiento de falla se toma a partir de la anchura media de la zona de salida del material, perpendicularmente a la dirección del movimiento.

**La longitud** del movimiento de falla es la distancia máxima medida en la dirección del movimiento, desde el límite superior hasta el límite inferior de la zona de arranque.

### 8. MATERIAL DESLIZADO

Suelos ( )

Rocas ( )

Relleno ( )

Basura y ripio ( )

Árboles ( )

Otros \_\_\_\_\_

Superficie de afectación: Ancho(a) \_\_\_\_\_ (m) Largo (l) \_\_\_\_\_ (m)

Área (a\*l) \_\_\_\_\_ (m<sup>2</sup>)

Ocupando cauce de río o quebrada ( )

Permanece: (SI) (NO)

Viabilidad de movilizar el material (palas, máquina...)

En este apartado evaluaremos qué material se ha deslizado marcando uno o varios de los que se muestran o añadiendo cualquier otro que se observe en campo.

Éste material ocupará un área que denominamos superficie de afectación. La obtendremos midiendo el ancho (a) y el largo (l) para luego multiplicarlos y calcular el área.

- ✓ El ancho (a) será la distancia de un extremo a otro del material que se ha deslizado. Tomaremos la medida paralela a la base del talud.
- ✓ El largo (l) será la distancia desde la base de la superficie de ruptura hasta donde llegue el material deslizado tomando la medida perpendicular a la base del talud.

Si el material deslizado fue a dar al cauce de un río o quebrada, marcaremos la opción ocupando el cauce, luego determinaremos si ese material permanece todavía o ya fue



## ANEXO C2

arrastrado por la corriente indicándolo rodeando la respuesta **SI** o **NO** respectivamente. Una vez ocurrido el deslizamiento tendremos un material ocupando una superficie específica en la que antes se realizaban usos determinados: calles, patios, casas, solares,... Explicaremos la viabilidad de mover ese material para volver a tener las condiciones de acceso, uso y/o paso previas al deslizamiento. Precisaremos si se puede realizar con palas y carretillas, si sólo es posible con maquinaria pesada y camiones

9. ESTADO DE ACTIVIDAD			
Activo	( )		
Reactivo	( )		
Suspendido	( )		
Inactivo	( )		
	Reposo	( )	Estabilizado ( )

**El estado de actividad** del movimiento de ladera se clasificara según los siguientes criterios:

Activo. Deslizamiento que se está moviendo en los actuales momentos.

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

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

Inactivo. Deslizamiento que lleva varios ciclos estacionales, sin actividad.

Reposo. Deslizamiento inactivo donde aparentemente permanecen las causas del movimiento.

Estabilizado. Movimiento suspendido por obras artificiales.

10. GRADO DE ESTABILIDAD	
Activo	( )
Estable	( )
Latente	( )
Equilibrio estricto	( )
Equilibrio critico	( )

**El grado de estabilidad** se seleccionara marcando uno o varios de los factores que se muestren o añadiendo cualquier otro que se observe en campo.

Estable: No presenta movimientos actualmente.

Latente: Presenta movimientos con movimientos primarios y reactivaciones.

Activo: Presenta movimientos actualmente, con movimientos primarios y reactivaciones

## ANEXO C2

11. VELOCIDAD DEL MOVIMIENTO*					
Extremadamente rápido	( )	Muy rápido	( )	Rápido	( )
Moderado	( )	Lento	( )		
Extremadamente lento	( )				

Clasificar la **velocidad del movimiento** según los parámetros siguientes:

<b>Extremadamente rápido</b>	5 m/s	<b>Catástrofe de gran violencia</b>
<b>Muy rápido</b>	3 m/min	Alguna pérdida de vidas; gran destrucción
<b>Rápido</b>	1,8 m/hora	Escape posible; estructuras, propiedades y equipos destruidos.
<b>Moderado</b>	13 m/mes	Algunas estructuras temporales y poco sensitivas pueden mantenerse temporalmente.
<b>Lento</b>	1,6 m/año	Construcciones remediales pueden llevarse a cabo durante el movimiento.
<b>Extremadamente Lento</b>	16 mm/año	Algunas estructuras permanentes no son dañadas por el movimiento.
<b>Extremadamente lenta</b>		Imperceptibles sin instrumentos; construcción posible pero deben tenerse precauciones.

12. FACTORES GENERADORES*			
Factores Naturales:	Factores Antrópicos:		
Escorrentía Superficial	( )	Cortes de caminos y/o construcción	( )
Lluvias	( )	Drenajes	( )
Sismos	( )	Acumulación de sobrecargas	( )
Otros _____			
Comentarios _____			

En este apartado determinaremos cuál o cuáles han sido las causas para que se produjera el deslizamiento que estamos analizando.

La **acumulación de sobrecargas** se refiere a las cargas adicionales que hayan sido colocadas en la corona del talud y como producto de ello lo hayan desestabilizado. Entenderemos que la sobrecarga ha influido si el lapso de tiempo desde su instalación hasta la ocurrencia del deslizamiento es cercano.

**Las lluvias** es uno de los factores más habituales, refiriéndose a la carga de agua que adquiere el talud como desencadenante del movimiento.

**La escorrentía** superficial se refiere a los flujos superficiales de agua que inciden en un deslizamiento. Puede ser el caso de un río o quebrada que socava la base de un talud para producir un deslizamiento; o la incidencia de la escorrentía sobre los taludes originales que va progresivamente lavando material y debilitándolo.

**Los cortes de caminos y/o construcción** son todas aquellas modificaciones hechas por el hombre donde se transforme la ladera original para dejar un talud y una superficie más o

## ANEXO C2

menos horizontal en la base del talud. Es habitual encontrarlos en las carreteras, caminos, lotificaciones.

**Los sismos** es el otro factor detonante más habitual, favoreciendo el deslizamiento por la propagación de las ondas sísmicas a través del terreno.

13. EVALUACIÓN DE DAÑOS (poner la cantidad en los casos que se conozca el dato)			
Carreteras/caminos	( )	Viviendas	( )
Acueductos	( )	Tendido eléctrico	( )
Personas heridas Hom ( ) Muj ( )		Personas fallecidas Hom ( ) Muj ( )	
Cultivos	( )		
Otros	_____		

Se identificarán todos **los daños** que ha producido el deslizamiento que estamos analizando. Si conocemos el número de elementos o personas lo pondremos para conocer el impacto de forma más precisa. Siempre podemos preguntar a los habitantes cercanos el número de casas, familias, miembros de la familia, etc. Tendremos en cuenta tanto los daños en la parte alta del talud como los producidos en la base, donde impactó el material deslizado.

14. ELEMENTOS EXPUESTOS (poner la cantidad en los casos que se conozca el dato)			
Carreteras/caminos	( )	Viviendas	( )
Acueductos	( )	Tendido eléctrico	( )
Personas heridas Hom ( ) Muj ( )		Cultivos	( )
Otros	_____		
Comentarios	_____		
	_____		

Se identificarán aquellos elementos **que pueden resultar dañados** después de la ocurrencia del deslizamiento por encontrarse en las cercanías del mismo, tanto en la parte alta del talud como en la base. Igual que en el apartado anterior si conocemos el número de elementos o personas lo pondremos para conocer el posible daño de forma más precisa. De gran importancia conocer los datos referentes a población y sus bienes por lo que podemos preguntar a los habitantes cercanos el número de casas, familias, miembros de la familia, etc.

15. MEDIDAS DE PRECAUCIÓN REALIZADAS			
Evacuación de la zona afectada	( )	Desalojo del material deslizado	( )
Cubrir el talud con plástico	( )	Señales de precaución	( )
Otros	_____		

Marcaremos las medidas de precaución que han sido tomadas a fin de evitar mayores desgracias.

## ANEXO C2

En el caso de que el área fuera evacuada y en el momento de la inspección ya estuviera de nuevo habitada lo indicaremos marcando con “x” la opción de “evacuación” y aclarando la situación actual en el espacio de “otros”.

Las señales de precaución sería cualquier advertencia visual para indicar la situación de inestabilidad de la zona: cintas, carteles.

16. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN*			
Conformación del talud	( )	Construcción de muros/gaviones	( )
Reforestación	( )	Construcción de drenajes	( )
Instalación de SAT	( )		
	Otros _____		
	_____		
	_____		

Marcaremos las propuestas de solución que según el criterio de la persona o personas que realizan la inspección se deben efectuar con el objetivo de tener una recomendación valorada en el lugar de afectación (in situ).

La conformación del talud conlleva realizar obras como reducir el ángulo del talud, construcción de bermas (escalones), etc.

La instalación de un SAT (Sistema de Alerta Temprana) es una propuesta más relacionada con inestabilidades del tipo “flujos”, como los que se producen en las laderas de los volcanes al encontrarse un material suelto en presencia de una cantidad de agua que lo moviliza largas distancias. Aquí el SAT nos daría el tiempo de reacción desde que se concentra una cantidad determinada de agua, capaz de movilizar el material, hasta que el flujo alcanza la zona poblada.

La construcción de drenajes son aquellos que en la superficie del talud canalizarían las aguas disminuyendo su infiltración al suelo.

17. ANTECEDENTES
Ha ocurrido antes otro deslizamiento en el mismo lugar o cerca del mismo ( )
En el caso que sea cerca, ¿a qué distancia? _____ (m)

Marcaremos si ha ocurrido **antes** otro deslizamiento en el mismo lugar o cerca del mismo, en el caso de que haya sido cerca pondremos los metros a los que se encuentra.

Esta información nos dará una idea del nivel de afectación que hay en el área: si ha sido algo excepcional o es una situación recurrente todos los inviernos.

**Nota:** Para el llenado de los apartados que tienen asterisco se requiere poseer información y criterio técnico.

Sección cuantitativa explicación por apartado

En el análisis cuantitativo de la amenaza se procederá a la asignación de un valor numérico a cada factor.

## ANEXO C2

La distribución de la magnitud de la amenaza se realizó a través de porcentajes hasta obtener un 100% en la sumatoria final de los factores evaluados.

La asignación de cada porcentaje se realizó en base al grado de afectación de cada elemento condicionante de la amenaza y en base a porcentajes propuestos en otros estudios (Criterios básicos para evaluación rápida de la Estabilidad de Taludes, MsCE Enrique E. Melara R.)

18. ESTIMACIÓN DE AMENAZA DE DESLIZAMIENTO DE LADERAS			
18.1 Condiciones topográficas			
Factor	Categoría	Valoración	
Pendiente del talud o ladera	Más de 45°	2.00	
	35° a 45°	1.60	
	25° a 35°	1.20	
	15° a 25 °	0.80	
	Menos de 15°	0.40	
Altura del talud o ladera	Más de 200 m	1.50	
	100 a 200 m	1.25	
	50 a 100 m	0.75	
	Menos de 50 m	0.50	

En cuanto a la cuantificación de las condiciones topográficas se tomaron dos factores que forman parte de los agentes condicionantes para el movimiento de una ladera o talud.

**La pendiente del talud o ladera** la obtenemos a partir del ángulo de talud. Los parámetros van 2.0 a 0.40 siendo los que tienen menor importancia por lo que respecta al riesgo geológico aquellos que tengan una numeración menor.

**La altura de talud o ladera** es la distancia vertical entre el pie y la cabeza de las laderas o talud. Los parámetros van 1.50 a 0.50 asignándosele el mayor valor al talud o ladera con una mayor altura debido al aumento en el efecto gravitacional a medida se incrementa este parámetro.

18.2 Condiciones históricas			
Antecedentes de deslizamientos	Sí, incluso con fechas	1.00	
	Sí, sin tener en cuenta detalles	0.60	
	No se sabe	0.30	

Si se pose un registro histórico de la ocurrencia de movimientos de ladera, se puede decir que esta zona es más susceptible a la ocurrencia de movimientos de masa.

18.3 Factores geotécnicos			
Tipo de suelos o rocas	Suelos granulares	1.50	
	Rocas metamórficas	1.20	
	Suelos arcillosos	0.90	
	Rocas sedimentarias	0.60	
	Rocas ígneas	0.30	

## ANEXO C2

El estado y características de los suelos o rocas son factores que condicionan las amenazas de deslizamientos. Los parámetros van 1.50 a 0.30 asignándosele el mayor valor a los suelos o rocas menos consolidados.

18.4 Factores geomorfológicos			
Evidencia de grietas en laderas contiguas	Grandes volúmenes faltantes	1.00	
	Volúmenes moderados	0.50	
	Inexistentes	0.00	
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	0.50	
	Nivel freático inexistente	0.00	
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera	0.50	

Para la evaluación del factor geomorfológico se consideró primero la **evidencia de grietas en la ladera o talud**, asignándosele los parámetros de 1.0 a 0.0; el valor mayor será para la presencia de fracturación en los suelos ya que es un indicador que define muy bien la probabilidad de que un suelo pueda deslizarse.

El segundo elemento considerado es el **régimen de agua** para este los parámetros van de 0.50 a 0.0 el valor más alto representa el nivel de aguas que favorecen la inestabilidad de los suelos.

18.5 Factores ambientales			
Tipo de cobertura	Cultivos anuales	1.00	
	Pastos	0.67	
	Bosques	0.33	
Uso de suelos	Zona urbana	1.50	
	Área deforestada	1.50	
	Vegetación moderada	1.00	
	Vegetación intensa	0.50	

En la cuantificación de los factores ambientales se consideró:

**El tipo de cobertura** con parámetros que van 1.0 a 0.33 según se presente en la zona, asignándosele un mayor valor a aquella cobertura que no es permanente.

**El uso del suelo** la valoración se realizó respecto a la masa forestal ya que esta actúa como amortiguador del agua de las lluvias, disminuyendo su capacidad erosiva antes de llegar al suelo y disminuyendo la escorrentía superficial de manera que el valor mayor 1.5 se asignó a la zona que se encuentra libre de masa forestal y el valor menor a la zona que cuente con una cobertura vegetal intensa.

### **Procesamiento de datos**

El procesamiento de datos se ha realizado a través de tablas donde quedan reflejados los parámetros que han obtenido cada factor dependiendo de sus características.

Para el cálculo del grado total de amenaza para cada talud o ladera, se han sumado previamente todos los parámetros y se comparan con los valores establecidos.

## ANEXO C2

### 18.6 ESTIMACIÓN DEL GRADO DE LA AMENAZA DE DESLIZAMIENTO DE LA LADERA

Grado	Descripción	Suma de las calificaciones
1	Amenaza súper crítica	Más de 7
2	Amenaza crítica	6 a 7
3	Amenaza moderada	5 a 6
4	Amenaza baja	3.5 a 5
5	Amenaza muy baja	Menos de 3.5

En el análisis cuantitativo de la vulnerabilidad se procederá a la asignación de un valor numérico a cada factor. Para lograr uniformidad en el análisis de los diferentes indicadores, fue necesario estandarizar las variables que contienen a cada uno de los indicadores. Esta estandarización dentro de los indicadores partió del concepto de analizar el grado de influencia que los distintos valores (variable observada) tienen dentro del indicador para obtener un determinado nivel de severidad en la vulnerabilidad, es decir, entre mayor es el aporte del indicador a la vulnerabilidad, mayor valor estandarizado

### 19. ESTIMACIÓN DE VULNERABILIDAD POR DESLIZAMIENTO DE LADERAS

#### 19.1 Vulnerabilidad física (población)

Factor	Categoría	Valoración
Número de familias afectadas	Más de 8	1.50
	6-7	1.15
	5-6	0.75
	3-4	0.40
	0-2	0.00
Tipo de construcción de viviendas (mayor porcentaje)	Bahareque	1.00
	Tabla	0.75
	Adobe	0.50
	Bloque	0.25
	Ladrillo	0.00
Porcentaje de población con acceso a albergues en caso de emergencia	De 0% a 19.99%	0.50
	De 20% a 39.99%	0.35
	De 40% a 59.99%	0.25
	De 60% a 79.99%	0.15
	De 80% a 100%	0.00
Vías de acceso hacia la comunidad	Difícil acceso todo el año	1.00
	Acceso durante cinco meses al año	0.75
	Acceso durante ocho meses al año	0.50
	Acceso durante diez meses al año	0.25
	Fácil acceso todo el año	0.00

## ANEXO C2

La vulnerabilidad física se refiere al número de asentamientos humanos en zonas de amenaza, tipos de construcción y a las deficiencias estructurales de la mayor parte de las viviendas, vías de acceso a la zona en estudio.

19.2 Vulnerabilidad social		
Factor	Categoría	Valoración
Organización comunal (cantidad de organizaciones)	0	1.00
	1	0.75
	2	0.50
	3	0.25
	4 o más	0.00
Instituciones presentes en la zona	0	0.50
	1	0.35
	2	0.25
	3	0.15
	4 o más	0.00
Ubicación de servicio de salud	Más de 8 km	1.00
	6 km -8 km	0.75
	4 km- 6 km	0.50
	2 km- 4 km	0.25
	Menos de 2 km	0.00
Tipo de servicio de salud	Ninguno	0.50
	Casa de salud	0.35
	Equipo comunitario de salud (ECOS)	0.25
	Unidad comunitaria de salud familiar	0.15
	Hospital	0.00

Para la valoración de esta sección se debe de entender que la vulnerabilidad social es el conjunto de relaciones, comportamientos, creencias, formas de organización y manera de actuar de las personas y las comunidades que las hacen más o menos vulnerables.

Mientras más organizada esta una comunidad, si posee también servicios de salud y si hay instituciones trabajando en dicha zona menos vulnerable es la población.

### 19.3 Vulnerabilidad económica

Factor	Categoría	Valoración
Desarrollo económico (Ingreso per cápita)	Menos de \$200	1.00
	De \$200 a \$300	0.75
	De \$300 a \$400	0.50
	De \$400 a \$600	0.25
	Más de \$600	0.00



## ANEXO C2

Desempleo	Más de 20%	1.00
	De 15% a 19.99%	0.75
	De 10% a 14.99%	0.50
	De 5% a 9.99%	0.25
	Menos de 5%	0.00
Acceso a servicios públicos	Menos de 20%	1.00
	De 20% a 39.99%	0.75
	De 40% a 59.99%	0.50
	De 60% a 79.99%	0.25
	Más de 80%	0.00

Una sociedad es vulnerable económicamente hablando cuando está o queda expuesta a los efectos de un fenómeno de origen natural, y no tiene la capacidad de recuperarse por sí misma de los efectos de éste.

### Procesamiento de datos

Para el cálculo del grado total de vulnerabilidad, se han sumado previamente todos los parámetros y se comparan con los valores establecidos.

#### 19.4 ESTIMACIÓN DEL GRADO DE LA VULNERABILIDAD POR DESLIZAMIENTO DE LA LADERA

Grado	Descripción	Suma de las calificaciones
1	Vulnerabilidad súper crítica	Más de 7
2	Vulnerabilidad crítica	6 a 7
3	Vulnerabilidad moderada	5 a 6
4	Vulnerabilidad baja	3.5 a 5
5	Vulnerabilidad muy baja	Menos de 3.5

Finalmente para la estimación del riesgo se debe colocar los valores resultantes del análisis de amenaza y de vulnerabilidad

#### 20. ESTIMACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE LADERAS

Se considera que el riesgo es la multiplicación de la amenaza por la vulnerabilidad






Sumatoria de calificación de amenaza

Sumatoria de calificación de vulnerabilidad

## ANEXO C2

Luego se multiplican ambos valores y se obtiene el grado de riesgo existente. Comparando este valor con los establecidos

Riesgo= amenaza \* vulnerabilidad

Grado	Descripción	Suma de las calificaciones	Color indicador
1	Riesgo súper crítico	Más de 70	
2	Riesgo crítico	60 a 70	
3	Riesgo moderado	50 a 60	
4	Riesgo bajo	35 a 50	
5	Riesgo muy bajo	Menos de 35	

### 21. CROQUIS.

Haga un diagrama en planta y perfil del deslizamiento, indicando la situación de las medidas tomadas.

Realizar un croquis que aclare la situación y distribución de los elementos principales que se haya evaluado y completado en los apartados anteriores: talud, calles, viviendas.







# ANEXO D

- **Anexo D1:** Memoria de cálculo para muro y canaleta
- **Anexo D2:** Análisis de precios unitarios de muro y canaleta
- **Anexo D3:** Costo de procesos constructivos para barreras vivas

## MEMORIA DE CÁLCULO PARA MURO Y CANALETA

Proyecto:

### 1. Trazo lineal para la construcción (Vol= 408.0 m)

#### 1.1. Calculo de Cantidad de obra

*Trazo lineal para construcción de canal de aproximación*

$$L1 = 10.0 \text{ m}$$

*Trazo lineal para construcción Muro de mampostería de piedra*

$$L2 = 12.0 \text{ m}$$

*Trazo lineal para construcción gradas disipadoras de mampostería de piedra*

$$L3 = 12.0 \text{ m}$$

*Trazo lineal para construcción de canaleta de mampostería de piedra*

$$L4 = 374.0 \text{ m}$$

Longitud total de trazo

$$Lt = 10.0 + 12.0 + 12.0 + 374.0$$

$$\mathbf{Lt = 408.00 \text{ m}}$$

#### 1.2. Calculo de Materiales

$$\text{Regla pacha de pino} = 0.05 \text{ vr} * 408.0 = 20.40 \text{ vrs} \cong 21.0 \text{ vrs}$$

$$\text{Costanera de pino} = 0.05 \text{ vr} * 408.0 = 20.40 \text{ vrs} \cong 21.0 \text{ vrs}$$

$$\text{Clavos de } 2 \frac{1}{2}'' = 0.05 \text{ lb} * 408.0 = 20.40 \text{ lb} \cong 21.0 \text{ lbs}$$

$$\text{Hilo nylon} = 0.05 \text{ rollo} * 408.0 = 20.40 \text{ rollo} \cong 21.0 \text{ rollo}$$

## ANEXO D1

### **2. Excavación de material con maquinaria ( $V_t = 2,657.38 \text{ m}^3$ )**

#### 2.1. Calculo de cantidad de obra

##### *Conformación de canal de aproximación*

Longitud: 12.0 m

Área:  $1.58 \text{ m}^2$  (dato obtenido del software Civil 3D)

$$V1 = 12.0 * 1.58$$

$$V1 = 18.96 \text{ m}^3$$

##### *Excavación para muro de mampostería de piedra*

Longitud: 12.0 m

Ancho: 3.30 m

Espesor: 2.30 m

$$V2 = 12.0 * 3.30 * 2.30$$

$$V2 = 91.08 \text{ m}^3$$

##### *Excavación para las gradas disipadoras de energía de mampostería de piedra*

Longitud: 12.0 m

Ancho: 1.15 m

Espesor: 0.30 m

$$V3 = 12.0 * 1.15 * 0.30$$

$$V3 = 4.14 \text{ m}^3$$

##### *Excavación para Canaleta de mampostería de piedra*

Longitud: 374.0 m



## ANEXO D1

Área:  $6.80 \text{ m}^2$  (dato obtenido del software Civil 3D)

$$V4 = 374.0 * 6.80$$

$$V4 = 2,543.20 \text{ m}^3$$

Volumen total de excavación

$$Vol = 18.96 + 91.08 + 4.14 + 2,543.20$$

$$\mathbf{Vol = 2,657.38 \text{ m}^3}$$

### 2.2. Calculo de Maquinaria

Retro excavadora tipo CAT modelo 235, HP 195 capacidad  $1.30 \text{ m}^3$

$$R = 288 \text{ m}^3/\text{día} = 36 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$t = \frac{2,657.38 \text{ m}^3}{36 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}}$$

$$t = 73.82 \text{ horas} \cong 10 \text{ dias}$$

### 3. Desalojo de material ( $V_t = 2,657.38 \text{ m}^3$ )

#### 3.1. Calculo de cantidad de obra

Volumen total de excavación =  $2,657.38 \text{ m}^3$

$$\mathbf{Vol = 2,657.38 \text{ m}^3}$$

#### 3.2. Calculo de Maquinaria

$$Vol = 2,657.38 \text{ m}^3 * 1.10 \text{ (factor de expansion)}$$

$$Vol = 2,923.12 \text{ m}^3 \text{ a desalojar}$$

Camión de volteo MACK de  $12.0 \text{ m}^3$

$$R = 12.0 \text{ m}^3/\text{viajes}$$

## ANEXO D1

$$t = \frac{2,923.12 \text{ m}^3}{12 \frac{\text{m}^3}{\text{viajes}}}$$

$$t = 244.0 \text{ viajes}$$

#### **4. Relleno compactado con suelo-cemento (prop. 20:1), e= 30 cm, material selecto (Vol=306.52 m<sup>3</sup>)**

##### 4.1. Calculo de cantidad de obra

*Relleno compactado con suelo-cemento muro de mampostería de piedra e=30 cm*

Longitud: 12.0 m

Ancho: 3.30 m

Espesor: 0.30 m

$$V1 = 12.0 * 3.30 * 0.30$$

$$V1 = 11.90 \text{ m}^3$$

*Relleno compactado con suelo-cemento gradas disipadoras e=30 cm*

Longitud: 12.0 m

Área: 0.637 m<sup>2</sup> (dato obtenido del software Civil 3D)

$$V2 = 12.0 * 0.637$$

$$V2 = 7.64 \text{ m}^3$$

*Relleno compactado con suelo-cemento selecto muro de mampostería*

Longitud: 12.0 m

Área: 0.80 m<sup>2</sup> (dato obtenido del software Civil 3D)

$$V3 = 12.0 * 0.80$$

$$V3 = 9.60 \text{ m}^3$$

## ANEXO D1

*Relleno compactado con suelo-cemento selecto muro de mampostería*

Longitud: 12.0 m

Área: 0.674 m<sup>2</sup> (dato obtenido del software Civil 3D)

$$V4 = 12.0 * 0.674$$

$$V4 = 8.10 \text{ m}^3$$

*Relleno compactado con suelo-cemento selecto canaleta de mampostería de piedra e=30 cm*

Longitud: 374.0 m

Área: 0.720 m<sup>2</sup> (dato obtenido del software Civil 3D)

$$V5 = 374.0 * 0.720$$

$$V5 = 269.28 \text{ m}^3$$

Volumen total de compactación

$$Vol = 11.90 + 7.64 + 9.60 + 8.10 + 269.28$$

$$\mathbf{Vol = 306.52 \text{ m}^3}$$

### 4.2. Calculo de Materiales

Suelo –cemento proporción 20:1 espesor=30 cm con material selecto

Material selecto

$$Vol = 306.52 \text{ m}^3 * 1.20$$

$$Vol = 367.82 \text{ m}^3$$

Cemento

$$Vol = 306.52 \text{ m}^3 * \frac{1.0}{20} * \frac{1.0}{0.03864} \frac{\text{bolsa}}{\text{m}^3}$$

## ANEXO D1

$$Vol = 396.64 \text{ bolsas} \cong 397.0 \text{ bolsas}$$

### 4.3. Calculo de Maquinaria

Auxiliar (1)=144.0 m<sup>3</sup>/día, compactado con rodo liso vibratorio de 2.0 ton

$$t = \frac{306.52 \text{ m}^3}{144.0 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

$$t = 2.13 \text{ días} \cong 3.0 \text{ días}$$

## **5. Muro de mampostería de piedra proporción 1:3 (Vol= 87.92 m<sup>3</sup>)**

### 5.1. Calculo de cantidad de obra

Longitud: 12.0 m

Área transversal: 7.50 m<sup>2</sup> (dato obtenido del software Civil 3D)

$$V1 = 12.0 * 7.50$$

$$V1 = 90.0 \text{ m}^3 \text{ volumen incluye vertedero}$$

*Volumen del vertedero*

Longitud: 2.60 m

Área transversal: 0.80 m<sup>2</sup> (dato obtenido del software Civil 3D)

$$V2 = 2.60 * 0.80$$

$$V2 = 2.08 \text{ m}^3 \text{ volumen del vertedero}$$

Volumen total de mampostería de piedra para muro

$$Vol = 90.0 - 2.08$$

$$\mathbf{Vol = 87.92 \text{ m}^3}$$

### 5.2. Calculo de Materiales

## ANEXO D1

$$Piedra = 87.92 \text{ m}^3 * 1.25 * 1.1 = 120.89 \text{ m}^3$$

$$Cemento = 87.92 \text{ m}^3 * 3.41 \frac{\text{bolsa}}{\text{m}^3} * 1.15 = 344.78 \text{ bolsas} \cong 345.0 \text{ bolsas}$$

$$Arena = 87.92 \text{ m}^3 * 0.32 \frac{\text{bolsa}}{\text{m}^3} * 1.15 = 28.13 \text{ m}^3$$

$$Agua = 87.92 \text{ m}^3 * 60 \frac{\text{litros}}{\text{m}^3} * 1.25 * 0.008 \frac{\text{barriles}}{\text{m}^3} = 52.75 \text{ barriles} \cong 53.0$$

### 5.3. Calculo de Mano de Obra

Mano de Obra

$$R = 3.00 \text{ m}^3/\text{día} \quad (2 \text{ albañil} + 6 \text{ auxiliar})$$

$$t = \frac{87.94 \text{ m}^3}{3.0 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

$$t = 29.31 \text{ días} \cong 30.0 \text{ días}$$

## **6. Gradas disipadoras de mampostería de piedra proporción 1:3 (Vol =26.52 m<sup>3</sup>)**

### 6.1. Calculo de cantidad de obra

Longitud: 12.0 m

Área transversal: 2.21 m<sup>2</sup> (dato obtenido del software Civil 3D)

$$V = 12.0 * 2.21$$

$$\mathbf{Vol = 26.52 \text{ m}^3}$$

### 6.2. Calculo de Materiales

$$Piedra = 26.52 \text{ m}^3 * 1.25 * 1.1 = 34.50 \text{ m}^3$$

$$Cemento = 26.52 \text{ m}^3 * 3.41 \frac{\text{bolsa}}{\text{m}^3} * 1.15 = 103.99 \text{ bolsas} \cong 104.00 \text{ bolsas}$$

$$Arena = 26.52 \text{ m}^3 * 0.32 \frac{\text{bolsa}}{\text{m}^3} * 1.15 = 9.75 \text{ m}^3$$

## ANEXO D1

$$\text{Agua} = 26.52 \text{ m}^3 * 60 \frac{\text{litros}}{\text{m}^3} * 1.25 * 0.008 \frac{\text{barriles}}{\text{m}^3} = 13.91 \text{ barriles} \cong 14.0$$

### 6.3. Calculo de Mano de Obra

Mano de Obra

$$R = 3.00 \text{ m}^3/\text{día} \quad (2 \text{ albañil} + 6 \text{ auxiliar})$$

$$t = \frac{26.52 \text{ m}^3}{3.0 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

$$t = 8.84 \text{ días} \cong 9.0 \text{ días}$$

## **7. Canaleta de mampostería de piedra (Vol= 374.0 m)**

### 7.1. Calculo de cantidad de obra

Longitud: 374.00 m

Área transversal: 1.80 m<sup>2</sup> (dato obtenido del software Civil 3D)

$$V = 374 * 2.77$$

$$\text{Vol} = \mathbf{673.20 \text{ m}^3}$$

### 7.2. Calculo de Materiales

*Mampostería 1:3*

$$\text{Piedra} = 673.20 \text{ m}^3 * 1.25 * 1.1 = 925.65 \text{ m}^3$$

$$\text{Cemento} = 673.20 \text{ m}^3 * 3.41 \frac{\text{bolsa}}{\text{m}^3} * 1.15 = 2,639.95 \text{ bolsas} \cong 2,640.0 \text{ bolsas}$$

$$\text{Arena} = 673.20 \text{ m}^3 * 0.32 \frac{\text{bolsa}}{\text{m}^3} * 1.15 = 247.74 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = 673.20 \text{ m}^3 * 60 \frac{\text{litros}}{\text{m}^3} * 1.25 * 0.008 \frac{\text{barriles}}{\text{m}^3} = 403.92 \text{ barriles} \cong 404.0$$

*Repello 1:3*

## ANEXO D1

Longitud: 374.00 m

Área de repello: 0.162 m<sup>2</sup> (dato obtenido del software Civil 3D)

$$V = 374 * 0.162$$

$$\text{Vol} = 60.59 \text{ m}^3$$

$$\text{Cemento} = 60.59 \text{ m}^3 * 12.4 \frac{\text{bolsa}}{\text{m}^3} * 1.15 = 864.0 \text{ bolsas}$$

$$\text{Arena} = 60.59 \text{ m}^3 * 1.05 \frac{\text{bolsa}}{\text{m}^3} * 1.15 = 73.16 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = 60.59 \text{ m}^3 * 60 \frac{\text{litros}}{\text{m}^3} * 1.25 * 0.008 \frac{\text{barriles}}{\text{m}^3} = 36.35 \text{ barriles} \cong 37.0$$

### 7.3. Calculo de Mano de Obra

Mano de Obra

$$R = 9.0 \text{ m/día} \quad (3 \text{ albañil} + 8 \text{ auxiliar})$$

$$t = \frac{374.00 \text{ m}}{9.0 \frac{\text{m}}{\text{día}}} = 41.56 \text{ dias} \cong 42.0 \text{ dias}$$

**ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS  
SIN IVA**

**PROYECTO:** CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS EN SECTOR DE COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL Y PROPUESTA DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN DE LADERAS

PARTIDA No. \_\_\_\_\_ TRAZO LINEAL \_\_\_\_\_ UNIDAD \_\_\_\_\_ M  
ÍTEM No. 1 \_\_\_\_\_

**A.- MATERIALES**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
Regla pacha	vr	0.05	\$0.85	\$0.04
Costaneras	vr	0.05	\$1.25	\$0.06
Clavos de diferentes medidas	lb	0.05	\$1.00	\$0.05
Hilo nylon	c/u	0.05	\$1.00	\$0.05
<b>SUB-TOTAL</b>				<b>\$0.20</b>

**B.- MANO DE OBRA**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
Abañil	día	0.01	\$17.00	\$0.17
<b>SUB-TOTAL</b>				<b>\$0.17</b>

**C.- EQUIPO Y HERRAMIENTAS**

DESCRIPCIÓN	TIPO	CAPACIDAD	REND	COSTO/DIA	SUB TOTAL
Herramientas ( 5% de M.O. )			-		\$0.01
<b>SUB-TOTAL</b>					<b>\$0.01</b>

**D.- SUB-CONTRATOS**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
<b>SUB-TOTAL</b>				

<b>COSTO DIRECTO = A + B + C + D</b>	<b>\$0.38</b>
<b>COSTO INDIRECTO 25%</b>	<b>\$0.10</b>
<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$0.48</b>



**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS  
SIN IVA**

**PROYECTO:** CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS EN SECTOR DE COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL Y PROPUESTA DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN DE LADERAS  
PARTIDA No. CAVACION DE MATERIAL SEMIDURO CON MAQUINAI UNIDAD M<sup>3</sup>  
ÍTEM No. 2

**A.- MATERIALES**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
<b>SUB-TOTAL</b>				<b>\$0.00</b>

**B.- MANO DE OBRA**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
<b>SUB-TOTAL</b>				<b>\$0.00</b>

**C.- EQUIPO Y HERRAMIENTAS**

DESCRIPCIÓN	TIPO	CAPACIDAD	REND	COSTO/HORA	SUB TOTAL
Retroexcavadora	CAT	1.3	36.00	\$90.00	\$2.50
<b>SUB-TOTAL</b>					<b>\$2.50</b>

**D.- SUB-CONTRATOS**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
<b>SUB-TOTAL</b>				

<b>COSTO DIRECTO = A + B + C + D</b>	<b>\$2.50</b>
<b>COSTO INDIRECTO 25%</b>	<b>\$0.63</b>
<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$3.13</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS  
SIN IVA**

**PROYECTO:** CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS EN SECTOR DE COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL Y PROPUESTA DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN DE LADERAS  
PARTIDA No. DESALOJO DE MATERIAL SOBRANTE UNIDAD M<sup>3</sup>  
ÍTEM No. 3

**A.- MATERIALES**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
<b>SUB-TOTAL</b>				<b>\$0.00</b>

**B.- MANO DE OBRA**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
<b>SUB-TOTAL</b>				<b>\$0.00</b>

**C.- EQUIPO Y HERRAMIENTAS**

DESCRIPCIÓN	TIPO	CAPACIDAD	REND	OSTO/VIA	SUB TOTAL
Camion de volteo	MACK	12.0		\$36.00	\$3.00
<b>SUB-TOTAL</b>					<b>\$3.00</b>

**D.- SUB-CONTRATOS**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
<b>SUB-TOTAL</b>				<b>\$0.00</b>

<b>COSTO DIRECTO = A + B + C + D</b>	<b>\$3.00</b>
<b>COSTO INDIRECTO 25%</b>	<b>\$0.75</b>
<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$3.75</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS  
SIN IVA**

**PROYECTO:** CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS EN SECTOR DE COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL Y PROPUESTA DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN DE LADERAS RELLENO COMPACTADO CON SUELO CEMENTO prop

PARTIDA No. \_\_\_\_\_ 20:1 e=30 cm UNIDAD M<sup>3</sup>  
ÍTEM No. 4 \_\_\_\_\_

**A.- MATERIALES**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
Material selecto	m <sup>3</sup>	1.20	\$16.00	\$19.20
Agua	barril	0.05	\$2.25	\$0.12
Cemento	bolsa	1.29	\$8.15	\$10.51
<b>SUB-TOTAL</b>				<b>\$29.83</b>

**B.- MANO DE OBRA**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
Auxiliares (2)	dia	0.35	\$9.00	\$6.30
<b>SUB-TOTAL</b>				<b>\$6.30</b>

**C.- EQUIPO Y HERRAMIENTAS**

DESCRIPCIÓN	TIPO	CAPACIDAD	REND	COSTO/DIA	SUB TOTAL
Herramientas ( 5% de M.O. )					\$0.32
Rodo liso vibratorio de 2 Ton			0.34	\$45.00	\$15.30
<b>SUB-TOTAL</b>					<b>\$15.62</b>

**D.- SUB-CONTRATOS**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
<b>SUB-TOTAL</b>				

<b>COSTO DIRECTO = A + B + C + D</b>	<b>\$51.75</b>
<b>COSTO INDIRECTO 25%</b>	<b>\$12.94</b>
<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$64.69</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS  
SIN IVA**

**PROYECTO:** CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS EN SECTOR DE COMUNIDAD LOS  
CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN  
MIGUEL Y PROPUESTA DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN DE LADERAS

PARTIDA No. MURO DE MAMPOSTERIA DE PIEDRA prop 1:3 UNIDAD M<sup>3</sup>  
ÍTEM No. 5

**A.- MATERIALES**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
<b>Mamposteria</b>				
Cemento	bolsa	3.94	\$8.15	\$32.11
Arena	m <sup>3</sup>	0.32	\$30.00	\$9.60
Piedra	m <sup>3</sup>	1.38	\$25.00	\$34.38
Agua	barril	0.60	\$2.25	\$1.35
<b>SUB-TOTAL</b>				<b>\$77.44</b>

**B.- MANO DE OBRA**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
Auxiliares (6)	dia	0.34	\$9.00	\$18.36
Albañil (2)	dia	0.34	\$17.00	\$11.56
<b>SUB-TOTAL</b>				<b>\$29.92</b>

**C.- EQUIPO Y HERRAMIENTAS**

DESCRIPCIÓN	TIPO	CAPACIDAD	REND	COSTO/DIA	SUB TOTAL
Herramientas ( 5% de M.O. )			-		\$1.50
<b>SUB-TOTAL</b>					<b>\$1.50</b>

**D.- SUB-CONTRATOS**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
<b>SUB-TOTAL</b>				

<b>COSTO DIRECTO = A + B + C + D</b>	<b>\$108.86</b>
<b>COSTO INDIRECTO 25%</b>	<b>\$27.22</b>
<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$136.08</b>



**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS  
SIN IVA**

**PROYECTO:** CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS EN SECTOR DE COMUNIDAD LOS CARRETOS, SECTOR NOROESTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE, SAN MIGUEL Y PROPUESTA DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN DE LADERAS  
PARTIDA No. CANALETA DE MAMPOSTERIA DE PIEDRA prop 1:3 UNIDAD ML  
ÍTEM No. 7

**A.- MATERIALES**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
<b>Mamposteria</b>				
Cemento	bolsa	3.92	\$8.15	\$31.95
Arena	m <sup>3</sup>	0.36	\$30.00	\$10.80
Piedra	m <sup>3</sup>	1.37	\$25.00	\$34.25
Agua	barril	0.60	\$2.25	\$1.35
<b>Repello</b>				
Cemento	bolsa	2.31	\$6.70	\$15.48
Arena	m <sup>3</sup>	0.20	\$23.00	\$4.60
Agua	barril	0.10	\$0.01	\$0.00
<b>SUB-TOTAL</b>				<b>\$98.43</b>

**B.- MANO DE OBRA**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
Auxiliares (6)	dia	0.11	\$9.00	\$5.94
Albañil (2)	dia	0.11	\$17.00	\$5.61
<b>SUB-TOTAL</b>				<b>\$11.55</b>

**C.- EQUIPO Y HERRAMIENTAS**

DESCRIPCIÓN	TIPO	CAPACIDAD	REND	COSTO/DIA	SUB TOTAL
Herramientas ( 5% de M.O. )			-		\$0.58
<b>SUB-TOTAL</b>					<b>\$0.58</b>

**D.- SUB-CONTRATOS**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
<b>SUB-TOTAL</b>				

<b>COSTO DIRECTO = A + B + C + D</b>	<b>\$110.56</b>
<b>COSTO INDIRECTO 25%</b>	<b>\$27.64</b>
<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$138.20</b>

### Materiales y costos para establecer 100 m lineales de barrera viva (Zacate Limón)

Los datos que se muestran en la siguiente tabla están calculados para el establecimiento de 100 metros lineales de barrera viva de pasto de corte a hilera de tres (zacate Limón)

Detalle	Unidad	Costo Unitario	Cantidad	Total
Material vegetativo	Kg.	\$ 0.5	100	\$50
Transporte	Flete	\$25	1	\$25
Preparación de material (corte)	D/H	\$5	3	\$15
Siembra y fertilización	D/H	\$5	7	\$35
Primera fertilización (año 2) (fórmula 15-15-15)	Kg.	0.4	25	\$10
Segunda fertilización (año 3) (fórmula 15-15-15)	Kg.	0.4	25	\$10
<b>Total</b>				<b>\$145.00</b>

### Materiales y costos para establecer 100 m lineales de Barrera viva (Izote)

La flor de izote crece de un arbusto que florece mayormente entre los meses de marzo y abril; es común observar que se comercializa en mercados populares o supermercados del país. En otras partes de América esta flor es conocida como flor de itabo; la cual también es una rica fuente de vitamina C.

Detalle	Unidad	Costo Unitario	Cantidad	Total
Material vegetativo	unidades	\$0.6	600	\$360
Transporte	Flete	\$25	1	\$25
Preparación de material (corte)	D/H	\$5	1	\$5
Siembra y fertilización	D/H	\$5	5	\$25
Primera fertilización (año 2) (fórmula 15-15-15)	Kg.	0.4	25	\$10
Segunda fertilización (año 3) (fórmula 15-15-15)	Kg.	0.4	25	\$10
<b>Total</b>				<b>\$435.00</b>



### Costos de establecimiento y mantenimiento de 100 m de barrera viva con zacate vetiver (*Vetiveria zizanioides*)

Los datos que se muestran en la siguiente tabla están calculados para el establecimiento de 100 metros lineales de barrera viva de pasto zacate vetiver

Detalle	Cantidad	Unidad	Costo Unitario(\$)	Precio(\$)	Total(\$)
Material vegetativo	50	*macolla	\$0.35	\$13.00	\$17.50
Trazado y estaquillado	0.3	D/H	\$3.43	\$1.03	\$1.03
Surcado	0.15	D/H	\$3.43	\$0.52	\$0.52
Separación de haces y siembra	1.25	D/H	\$3.43	\$4.29	\$4.29
<b>Total año 1</b>					<b>\$23.34</b>
Primera Poda	1	D/H	\$0.80		\$0.80
Segunda Poda	1	D/H	\$0.80		\$0.80
<b>Total año 2</b>					<b>\$1.60</b>
Primera Poda	1	D/H	\$0.69		\$0.69
Segunda Poda	1	D/H	\$0.69		\$0.69
<b>Total año 3</b>					<b>\$1.38</b>
<b>Total</b>					<b>\$26.32</b>

### Materiales y costos para establecer 100 m lineales de Barrera viva (Piñuela)

Detalle	Unidad	Costo Unitario	Cantidad	Total
Material vegetativo	unidades	\$0.55	600	\$330
Transporte	Flete	\$25	1	\$25
Preparación de material (corte)	D/H	\$5	1	\$5
Siembra y fertilización	D/H	\$5	5	\$25
Primera fertilización (año 2) (fórmula 15-15-15)	Kg.	0.4	25	\$10
Segunda fertilización (año 3) (fórmula 15-15-15)	Kg.	0.4	25	\$10
<b>Total</b>				<b>\$405.00</b>



### Materiales y costos para establecer 100 m lineales de Barrera viva (bambú)

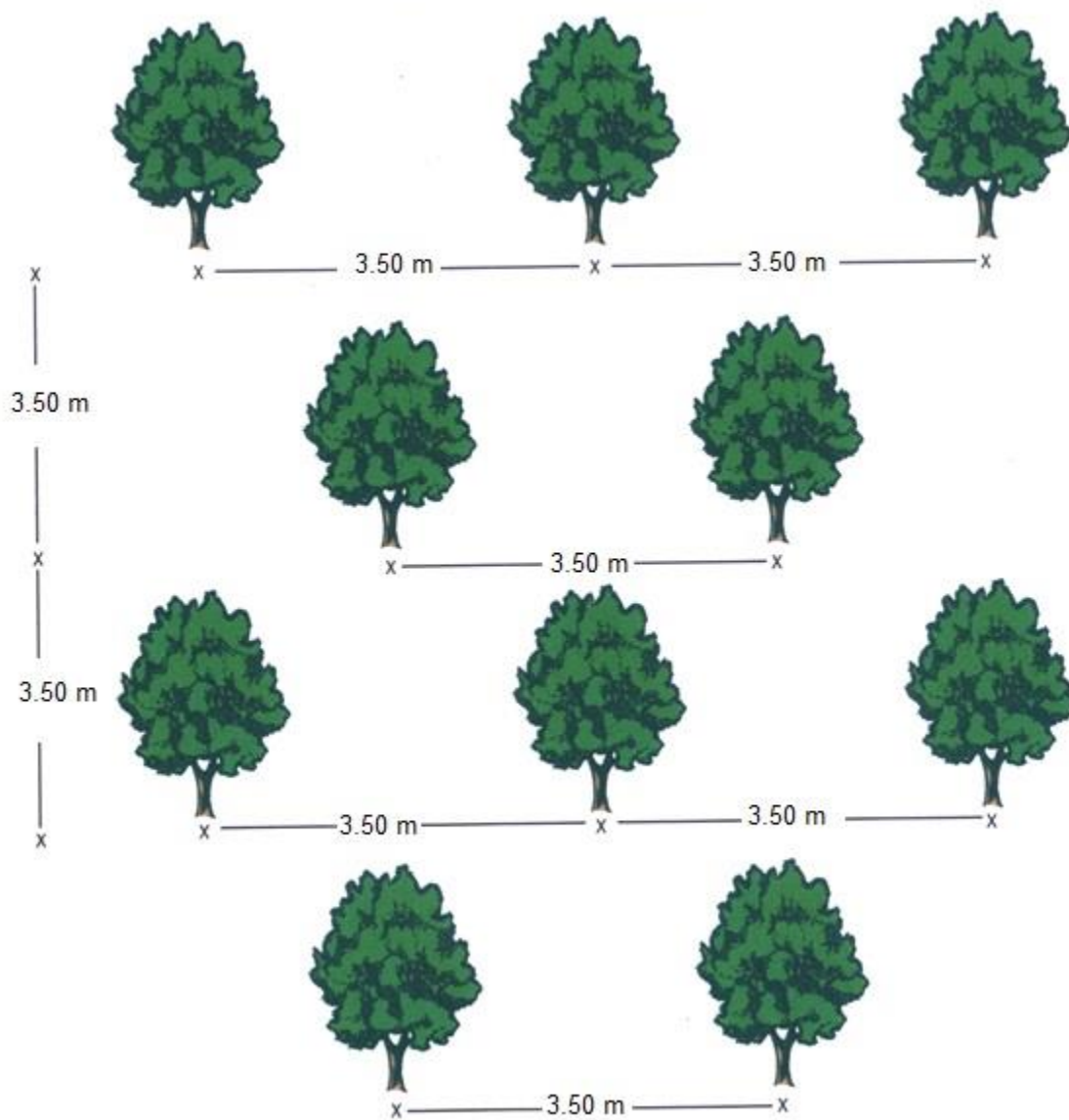
Detalle	Unidad	Costo Unitario	Cantidad	Total
Material vegetativo	unidades	\$0.50	500	\$250
Transporte	Flete	\$25	1	\$25
Preparación de material (corte)	D/H	\$5	1	\$5
Siembra y fertilización	D/H	\$5	5	\$25
Primera fertilización (año 2) (fórmula 15-15-15)	Kg.	0.4	25	\$10
Segunda fertilización (año 3) (fórmula 15-15-15)	Kg.	0.4	25	\$10
<b>Total</b>				<b>\$325.00</b>

### Materiales y costos para establecer 100 m<sup>2</sup> de árboles frutales y de sombra.

Los árboles se sembraran a una distancia promedio de 3.5 M

Detalle	Unidad	Costo Unitario	Cantidad	Total
Trazo y estaquillado	D/H	\$8.0	0.10	\$0.80
Ronda contra incendios	D/H	\$8.0	0.10	\$0.80
Ahoyado	D/H	\$8.0	1.0	\$8.00
Siembra y fertilización	D/H	\$8.0	0.14	\$1.12
Primera fertilización (año 2) (fórmula 15-15-15)	D/H	\$8.0	0.02	\$0.16
Segunda fertilización (año 3) (fórmula 15-15-15)	D/H	\$8.0	0.02	\$0.16
<b>Total</b>				<b>\$11.04</b>

DISEÑO DE SIEMBRA DE ARBOLES



Fuente: - Disciplina de Recursos Naturales, CENITA.  
- Boletín técnico No 8, Proyecto CENITA-FAO.  
-Guía técnica de conservación de suelos y agua. PASOLAC